

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

**GRUPO DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE
POTENCIA**



PROYECTO FIN DE GRADO

Electrónica Industrial y automática

Diseño, modelado y construcción de un cargador
USB para tensión de entrada universal.

AUTOR: David Ruano Durán.

TUTOR: Prof. Dr. Cristina Fernández Herrero.

Leganés, 19 de Septiembre de 2014

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar mi agradecimiento a mi tutora Cristina, por haber depositado en mí la confianza de desarrollar este proyecto.

Por el tiempo y la atención dedicada y, por supuesto, por los conocimientos adquiridos.

En el plano personal no puedo dejar de agradecer a mis padres, David y Ana Mari todo lo que han hecho para que pueda llegar hasta aquí. Gracias por su aguante, perseverancia y su apoyo incondicional ante cualquier adversidad.

A mi hermana Ana por ayudarme siempre que se lo he pedido, por buscar soluciones a esos problemas que parecían no tenerla y por ayudarme a encontrarlas.

A Cris, que siempre ha estado a mi lado, ayudándome, aguantándome, dándome ánimo cuando yo lo veía todo negro, empujándome siempre para que siguiera hacia delante y, en definitiva, derrochando cariño y atención para que pudiese finalizar esta etapa de mi vida.

Por último a mis amigos y compañeros de carrera, y a los de toda la vida, que siempre me ayudaron e hicieron que disfrutase esta etapa.

“Gracias a todos habéis sido los pies que me han hecho llegar hasta aquí”

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Resumen

Este proyecto fin de carrera consiste en el diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión universal.

El cargador está compuesto por un transformador de tipología *flyback* con aislamiento galvánico. En dicho cargador se pueden diferenciar varias partes las cuales ahora se nombrarán y más adelante se explicarán como son las siguientes: el rectificador, el snubber, filtro en pi y demás componentes del circuito como optoacoplador, NCP 1027, condensadores, diodo y resistencias de carga.

El circuito (AC-DC) permite coger la tensión de red universal en alterna y tener a la salida una tensión de continua para poder instalar un USB a la salida cuyo rango y universal es (0,5-2,1 A) y 5V. Ya que con estas características se trabajará con una potencia baja a la salida como máximo 10W.

Índice general

1. Introducción.....	8
2. Objetivos.	11
3. Diseño y modelado del prototipo.....	12
3.1. Estudio del rectificador AC/DC	12
3.1.1 Topologías Rectificadoras	12
3.2. Filtros	14
3.3. Convertidor flyback.....	15
3.3.1 Introducción	15
3.3.2 Ecuaciones de diseño.....	16
3.3.3 Cálculo de las pérdidas en el condensador:	24
3.4. Transformador	24
3.5. Diseño de los componentes.	34
3.5.1 Transformador.....	35
3.4.1 MOSFET	35
3.4.2 Optoacoplador	36
3.4.3 Puente rectificador.....	37
3.4.4 Diodo	37
3.4.5 Condensador equivalente al filtro Pi	38
4. Validación del diseño por simulación.	40
4.1 Flyback con rectificador.....	40
4.2 Calculo de flyback.....	41
4.3 Flyback CC-CC (sin rectificador)	45
4.4 Filtro pi.....	46
4.5 Analisis de la influencia de la inductancia de dispersion del transformador.....	49
4.6 Snubber con pi.....	54
5. Diseño y construcción del prototipo. Resultados experimentales	56
5.1 Componentes principales del prototipo	58
5.2 Diseño de la placa	59
5.3 Montaje de la placa.....	62
6. Conclusiones	64
7. Presupuesto	65
7.1 Planificacion temporal.....	65
7.2 Recursos empleados.	66
7.2.1 Recursos humanos	66

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

7.2.2 Recursos materiales.....	66
7.3 Coste asociado al proyecto.....	67
7.3.1 Costes de recursos humanos.....	67
7.3.2 Coste en recursos de materiales.....	68
8. Referencias.....	71

1. Introducción.

Con este proyecto, se pretende dar solución a la necesidad de construir cargador USB para red universal, con el objeto de abastecer las necesidades de los usuarios, ya que hoy en día la mayoría de los dispositivos que se utilizan tienen un cable adaptador USB como pueden ser teléfonos móviles, reproductores de mp4, cámaras de fotos, etc.

Las características principales son tensión de entrada es la tensión de red, la cual es de 220Vac y la salida será de 5,2V.

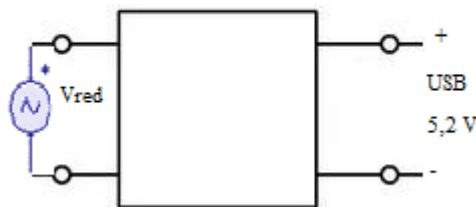


Figura 1: Esquema esencial del proceso.

Se deduce que el transformador a elegir tiene que ser de tipo reductor y dentro de este pueden ser de dos tipos:

- Con aislamiento galvánico (mayor seguridad eléctrica)
- Sin aislamiento galvánico (menor seguridad eléctrica)

Lo lógico sería elegir con aislamiento galvánico para tener mayor seguridad y evitar que el usuario pueda electrocutarse con parte de alta tensión.

Por otro lado, al elegir esta opción se cierra más aún el abanico de posibilidades ya que solo se puede optar a los transformadores del tipo:

- *forward* (reductor + aislamiento galvánico).
- *flyback* (reductor-elevador + aislamiento galvánico).

Para la elección de dicho convertidor, se elegirá otro criterio, el cual será la sencillez de cada uno de ellos, por lo que el *flyback* será mucho más sencillo y dispondrá de menos componente por lo cual será la mejor opción para nuestro montaje ya que tiene las siguientes características:

- Es sencillo y barato.
- Mayor capacidad de regulación.
- Un único elemento magnético.
- Apropiado para convertidores multisalida.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Otros de los motivos para la elección del convertidor será el cumplimiento de las normas:

- UNE-EN 61000-3-2:2006

Esta norma nos clasifica los dispositivos según el orden de los armónicos y pueden ser de varios tipos los más importantes son:

- *Clase A*
- *Clase C* equipos de iluminación y cargadores de baja potencia, que es nuestro caso.
- *Clase D* serían televisores, Pc, cargadores de portátiles, los cuales necesitan un CFP (factor de corrección de potencia).

Como nuestro dispositivo es de Clase C no es necesario corregir el factor de potencia lo cual es beneficioso para nosotros ya que cargador reducirá su tamaño.

- RBT (reglamento de baja tensión)

Cumplimiento de puesta a tierra de la envolvente si es metálica y el aislamiento galvánico.

Si se cumplen estas normas se accederá al certificado **CE** requisito obligatorio para poder comercializar dentro de la Unión Europea productos que se alimenten de energía eléctrica.

Una de las necesidades, es hacer más pequeño y eficiente el cargador, por lo que se ha establecido una relación tamaño eficiencia eligiendo los dispositivos más adecuados sin sobrepasar un valor muy elevado para dicho cargador.

La gran mayoría de fabricantes o distribuidores de componentes tienen en su web una herramienta de búsqueda que permite elegir los componentes del catálogo propio. De esta forma se puede elegir cada uno de los componentes que se necesiten individualmente.

Las herramientas de diseño existentes en el mercado, por el hecho de pertenecer a los mismos fabricantes o distribuidores, aportan una cantidad de información muy limitada en lo que concierne a valores y características de componentes, pérdidas u otro tipo de parámetros determinantes.

Su función como es lógico, es la de elegir los componentes del catálogo propio que más se acerquen a lo solicitado, se siguen unos criterios que en la mayoría de los casos, el usuario no conoce y no tiene posibilidad de conocer ni por supuesto modificar. En general, son soluciones cerradas que apenas dan posibilidad de modificar los diseños que proponen, por lo que se han buscado otras soluciones para hacer las mejoras.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Después de realizarse este planteamiento, se decidió abrir un cargador comercial disponible, y como era de esperar el diseño es mucho más simple que el nuestro ya que está construido con un transformador sin aislamiento, por lo que se puede deducir que ese fabricante premia más el tamaño que la seguridad del usuario.

Como se puede ver en la figura 2.

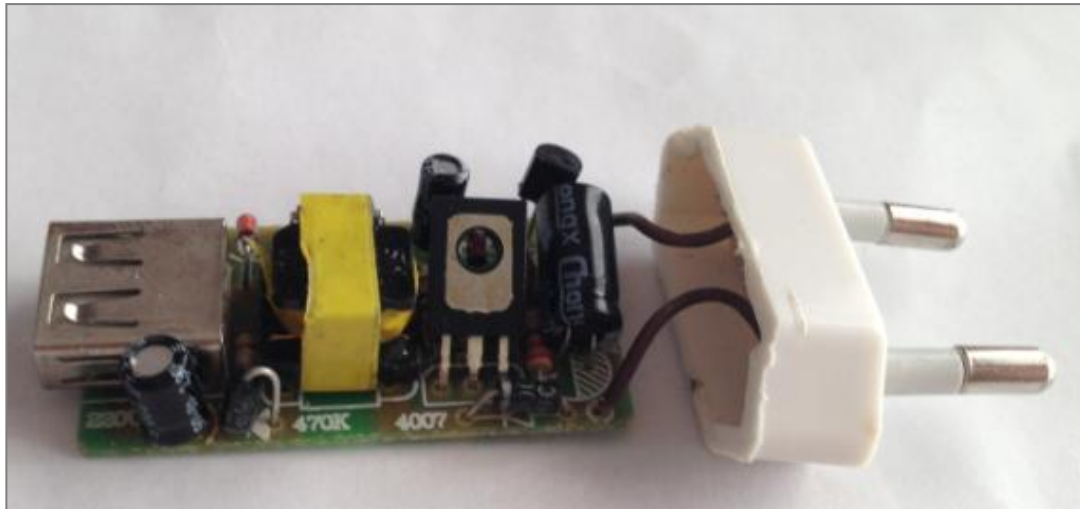


Figura 2: Circuito del cargador comercial.

El dispositivo está formado por un convertidor reductor sin aislamiento, con lo cual este dispositivo carece de seguridad y si el usuario manipula sin tener conocimientos de electricidad puede sufrir una descarga eléctrica, lo cual hace que dicho dispositivo no haya pasado las normativas antes mencionadas y tenga el certificado CE, pese a que tenga una pegatina que lo identifique como tal.

Se puede ver en la figura 3.



Figura 3: Circuito del cargador comercial.

2. Objetivos.

El objetivo principal de este proyecto es el de Diseñar, modelar y construir un cargador USB para tensión de entrada universal con salida de baja potencia.

En base a ese objetivo principal, se proponen los siguientes objetivos parciales:

- Adquirir y desarrollar conocimientos sobre circuitos electrónicos de potencia y sistemas electrónicos de potencia concretamente convertidores CC-CC con aislamiento galvánico.
- Comprender el funcionamiento de los dispositivos utilizados.
- Construcción del prototipo del cargador intentando:
 - Reduciendo el tamaño
 - El peso del mismo
 - El coste
 - Mejorar el rendimiento
- Aplicar conocimientos aprendidos en el grado como:
 - Simular el circuito con programa PSIM.
 - Diseñar la placa con Orcad.
 - Fabricar, taladrar y soldar los componentes de la misma.
 - Hacer pruebas experimentales en el laboratorio.
- Especificaciones del cargador.
 - $V_{in} = 220\text{ Ac}$
 - $V_o = 5,2\text{ V Dc}$
 - $P_o = 10\text{ W}$

Y otras de contrario serán fijados por nosotros como son la frecuencia de conmutación (f), el rizado de salida (ΔV_o) y el rizado de la corriente (ΔI), cuanto mayor sea la frecuencia de conmutación, en principio de menor tamaño serán los elementos reactivos y la fuente de alimentación. Sin embargo, se incrementan las pérdidas de conmutación de los dispositivos semiconductores y puede ser necesario el uso de disipadores que penalizarían el tamaño. Por lo tanto se busca una frecuencia de compromiso y 100KHz es un valor habitual.

Para el rizado de tensión de salida, a la hora de analizar las fuentes de CC-CC y extraer sus ecuaciones para hacer el diseño, se parte de la hipótesis de que el rizado de la salida es despreciable. Por ello debe buscarse un valor de rizado suficientemente pequeño, 1% de nuevo es un valor típico del rizado estático en un convertidor.

Respecto al rizado de la corriente, se desea hacer un diseño en modo de conducción continuo. Para asegurar el funcionamiento en este modo hay un amplio margen de potencia, se propone que el rizado máximo de corriente en la inductancia magnetizante sea de 171,8 mA.

3. Diseño y modelado del prototipo

El principal problema es una conversión de corriente alterna a corriente continua por lo que se necesita un rectificador como se puede ver en la figura 4.

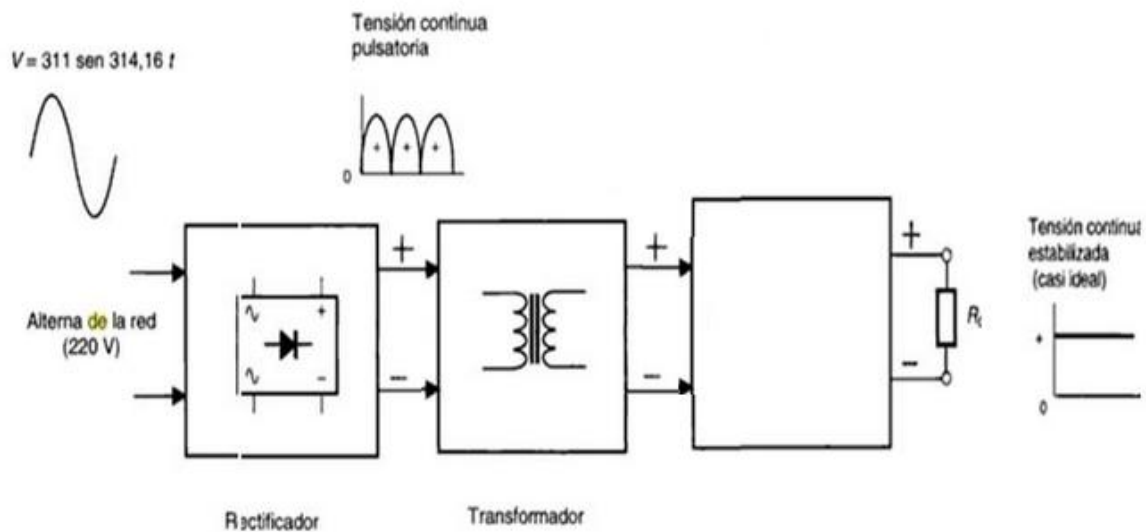


Figura 4: Diagrama de bloques del circuito

3.1. Estudio del rectificador AC/DC

La conversión AC/DC es efectuada por convertidores estáticos de energía, frecuentemente denominados rectificadores. Un rectificador se considera un sistema electrónico de potencia cuya función es convertir una tensión alterna en una tensión continua. La tensión alterna AC se toma de la red, la cual opera a una frecuencia de 50Hz y cuyo voltaje nominal fase-neutro es de 220 Vrms. Por tanto, el rectificador con filtro cumple una función primordial en la operación de las fuentes de voltaje DC.

3.1.1 Topologías Rectificadoras

Una primera clasificación que se podría hacer de los rectificadores sería según:

- su capacidad para ajustar el valor de la tensión de salida, esto depende de si se emplean diodos o tiristores. Los rectificadores no controlados son aquellos que utilizan diodos como elementos de rectificación, en cuanto que los controlados utilizan tiristores o transistores. Los más utilizados son los rectificadores no controlados, por su sencillez y sus aplicaciones más genéricas. Estos últimos serán los empleados en nuestro diseño.
- Una segunda clasificación es en función del tipo de conexión de los elementos, estos son: rectificador de media onda y rectificador de onda completa.

A) Rectificador de media onda

Es el rectificador más sencillo, y efectivamente más barato. Sólo es necesario un diodo entre la alimentación de alterna y la carga, tal y como se muestra en la figura 5. Este circuito sólo rectifica la mitad de la tensión de entrada, esto es, cuando el ánodo es positivo con respecto al cátodo.

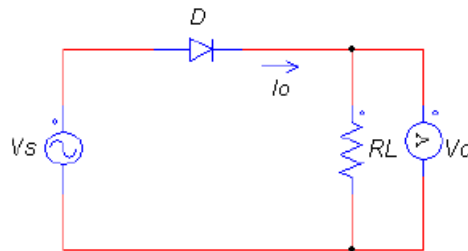


Figura 5: Rectificador de media onda

Para una carga resistiva, se tienen las siguientes formas de onda de la figura 5.1.

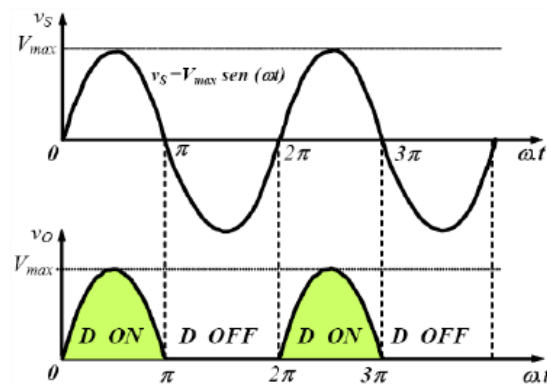


Figura 5.1: Formas de ondas medio puente.

B) Rectificador de onda completa

En el rectificador de onda completa se usan cuatro diodos para rectificar la onda, se denominada puente completo, como se muestra en el esquema siguiente. En este caso, conducen siempre dos diodos simultáneamente (D1-D4) o (D2-D3). Para saber qué diodo puede conducir hay que analizar cuál de los cuatro tiene mayor tensión en su ánodo y cuál de ellos tiene menor tensión en su cátodo.

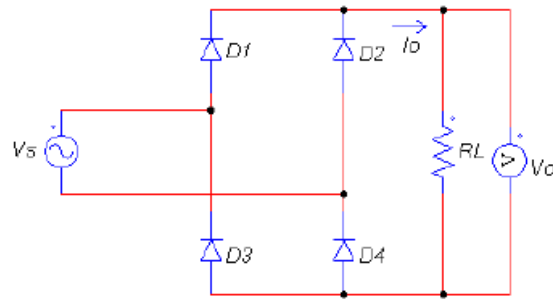


Figura 6: Rectificador de onda completa.

Para una carga resistiva, se tienen las siguientes formas de onda como se muestra en la figura 7

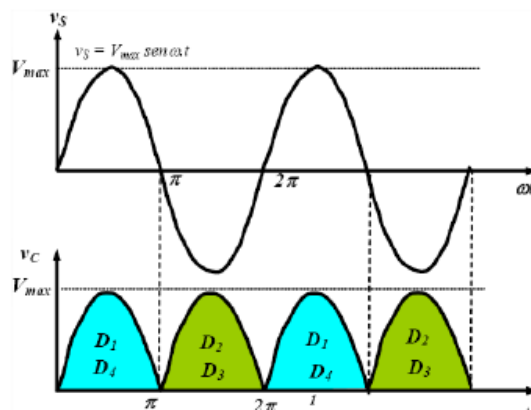


Figura 7: Formas de ondas puente completo.

Se puede observar que el rendimiento en este rectificador es el doble que el de media onda y su intensidad media será el doble, también se reduce el rizado, esto implica una clara ventaja a favor del puente completo. Por estas características, se ha decidido esta topología rectificadora para el diseño.

3.2. Filtros

Un filtro es un dispositivo que diferencia una o varias frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, consiguiendo cambiar tanto su amplitud como su fase.

Para mejorar la forma de onda que aparece a la salida de un rectificador es necesario el empleo de un filtro, esencialmente, basado en un condensador, como se muestra en la figura 8. El condensador permite mantener la tensión de salida casi constante, reduciendo el rizado de tensión final.

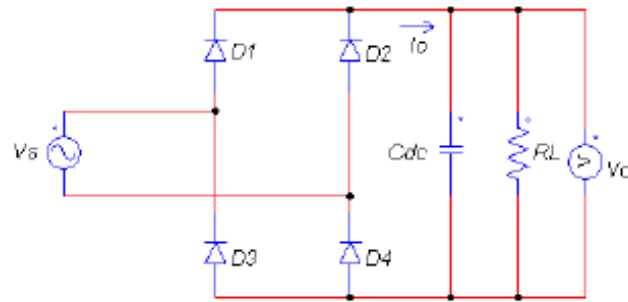


Figura 8: Rectificador de onda completa con filtro.

La forma de onda a la salida de un filtro capacitivo se muestra en la figura 9.

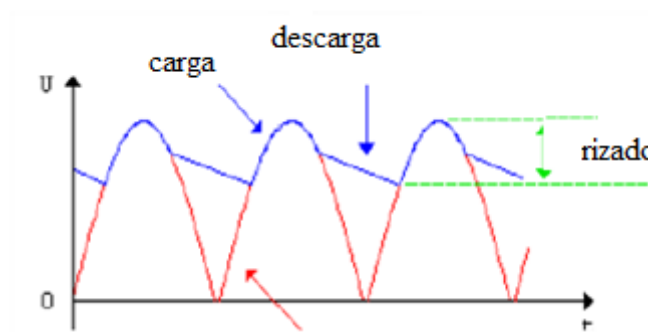


Figura 9: Tensión rectificada a la salida del puente de diodos.

Al filtro mencionado anteriormente, se le puede añadir un filtro LC con el cual se disminuirá el rizado. No obstante, como la frecuencia de la red es baja, la bobina L presenta valores de peso y volumen considerables. Por ello, se usará un filtro capacitivo que representa una mejora en la reducción del peso y del volumen del equipo. De cualquier forma, los convertidores CC-CC pueden compensar las variaciones de tensión de la entrada.

3.3. Convertidor *flyback*

3.3.1 Introducción

El convertidor *flyback* tiene como ventajas:

- La de permitir elevar la tensión de entrada (independientemente de la relación de vueltas del transformador) haciéndolo extremadamente útil en aplicaciones de alta tensión y baja potencia (televisores, monitores, etc.).

El *flyback* es considerado un convertidor *buck-boost* (reductor-elevador) añadiéndole un aislamiento galvánico.

En la figura 10, se observa el esquemático del convertidor *flyback*.

En el cual se ha representado la inductancia magnetizante del transformador como una bobina en paralelo con el primario dada la importancia de esta inductancia en el funcionamiento del convertidor y su análisis.

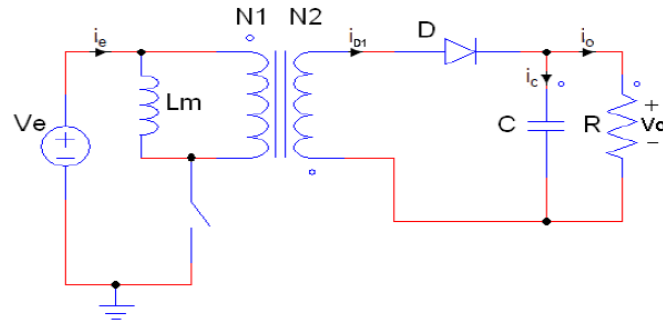


Figura 10: Circuito flyback.

3.3.2 Ecuaciones de diseño.

En la figura 11 se muestra un flujograma para ilustrar el proceso de diseño del convertidor *flyback*.

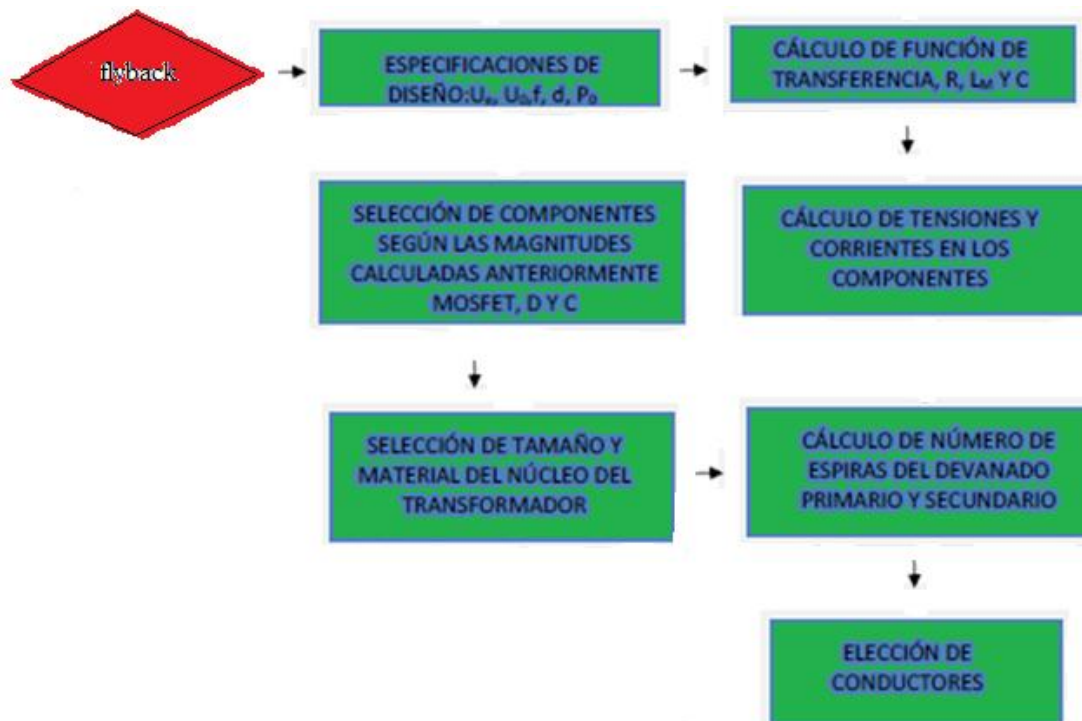


Figura 11: Flujograma del proceso de diseño.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Dependiendo de la forma de onda de la corriente que circula por la inductancia magnetizante (L_m) el convertidor puede operar en dos modos de conducción: continuo (MCC) y discontinuo (MCD). En el MCC la corriente en la bobina (I_l) y la tensión de la bobina (V_l) nunca llega a ser cero en cada uno de los ciclos de conmutación como se aprecia en la figura 12.

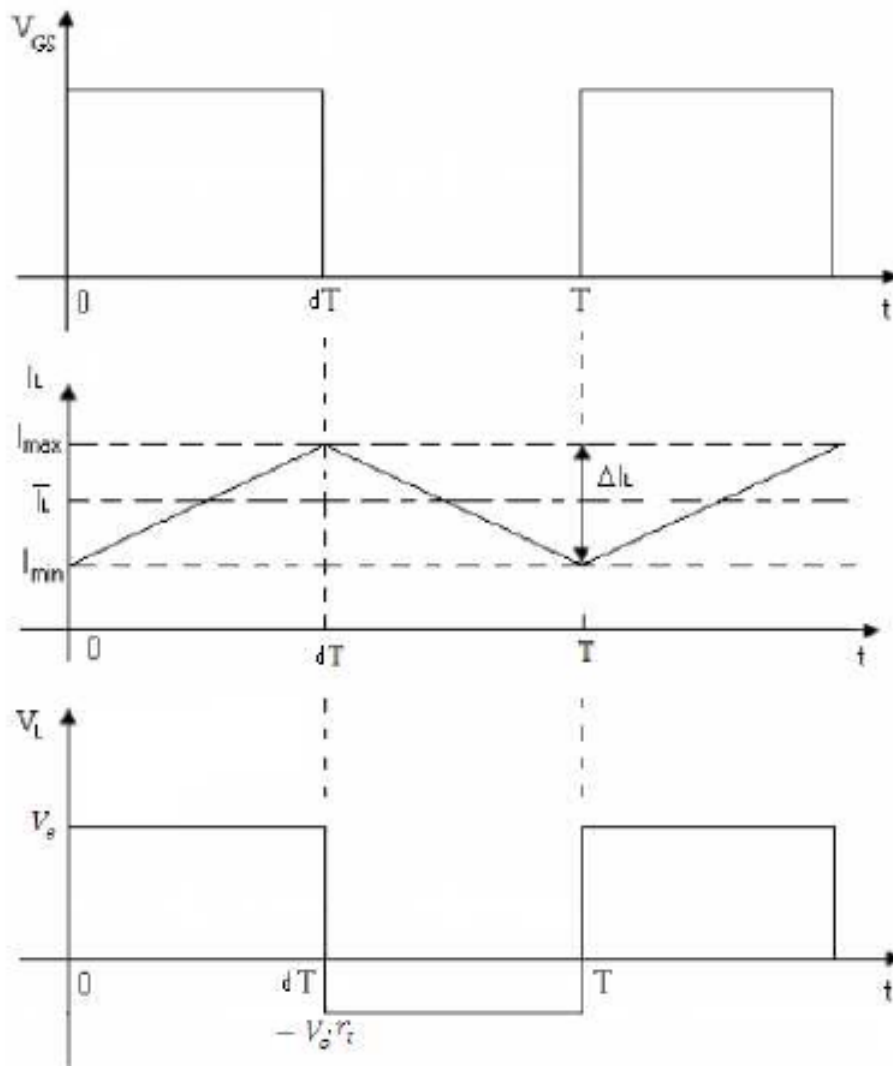


Figura 12: Formas de ondas de MCC

Si la corriente llega a ser cero, entonces se encuentra en la frontera. En el MCD la energía en la bobina es almacenada hasta un valor máximo a partir del cual, cuando se abre el interruptor, la energía almacenada decrece hasta llegar a ser cero y se mantiene así hasta que el interruptor se cierra de nuevo como se aprecia en la figura 13.

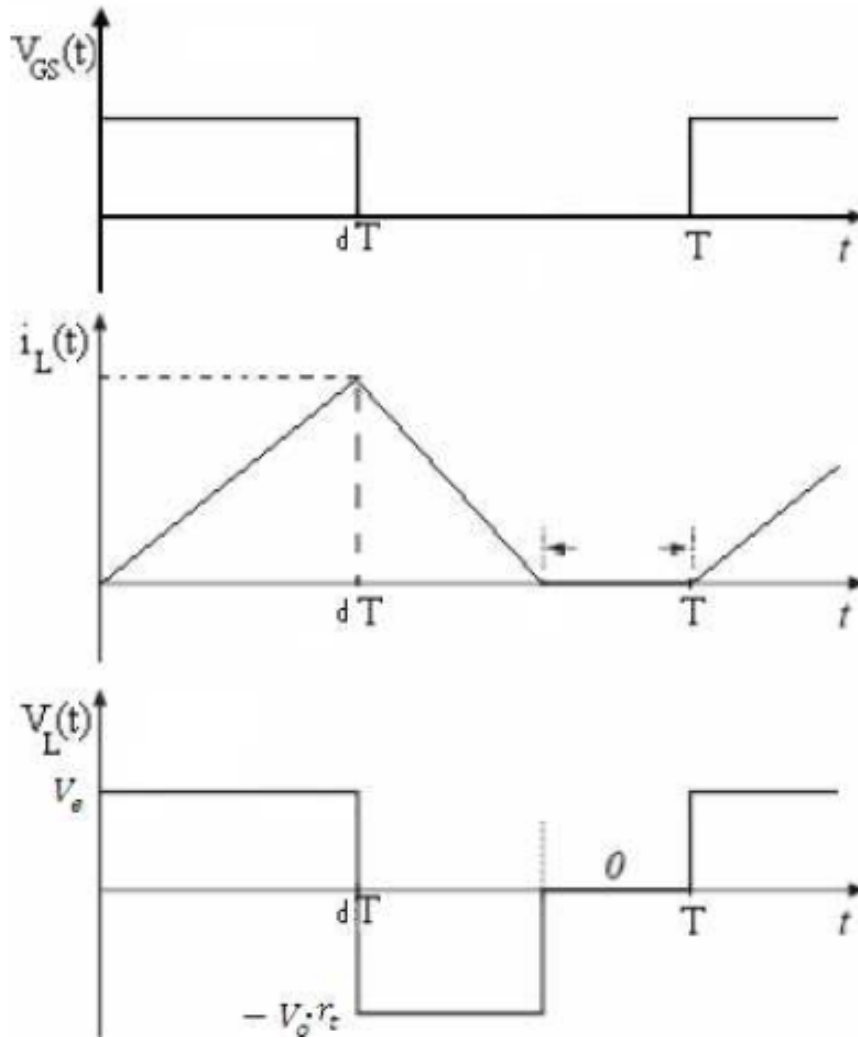


Figura 13: Formas de ondas de MCD

En la figura 14, se observa el funcionamiento del convertidor según se encuentre el interruptor (Ton o Toff).

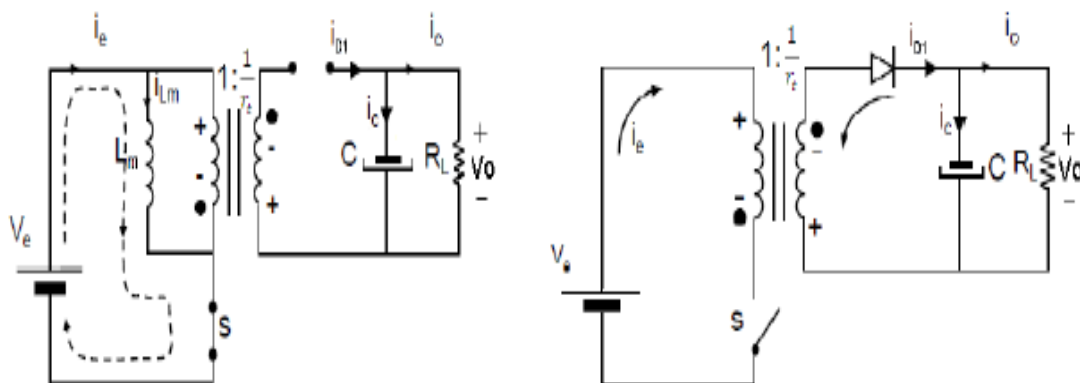


Figura 14: Funcionamiento de un convertidor flyback con interruptor abierto cerrado.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Para el diseño del convertidor se supone que debe operar en MCC (modo de conducción continua). Para analizarlo se tienen en cuenta las condiciones del régimen permanente, que son el balance de potencias ha de ser igual a la entrada que a la salida, la tensión media de la bobina debe ser cero y la corriente media del condensador también tiene que ser cero.

$$\bar{V}_L = 0 ; \bar{i}_C = 0 ; P_E = P_o$$

También tienen que cumplirse esta condición para su funcionamiento en MCC:

$$\frac{\Delta i_L}{2} < \bar{i}_L$$

Dichas condiciones aseguran que la inductancia magnetizante esté conduciendo y se pueda asegurar que su corriente no sea cero.

Nuestras especificaciones para el diseño serán las tensiones de entrada (Ve), salida (Vo), la potencia de salida (Po), para el ciclo de trabajo (d) se puede sacar a través de la formula $d = \frac{V_o}{nV_e + V_o}$ conociendo la tensión de entrada y salida y la relación de vueltas y la frecuencia de conmutación del transistor (f).

Para calcular la carga se utiliza la tensión de salida y la potencia:

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} \rightarrow R = \frac{V_o^2}{P_o}$$

Dichas condiciones se pueden verificar mientras el periodo de conmutación el diodo se encuentre en corte por lo que el condensador será el que suministre toda la corriente a la carga, y en el caso contrario cuando este el interruptor abierto y conduzca el diodo y así suministra la energía la inductancia magnetizante (Lm).

A continuación se hará un balance con el cual se calculará la función de transferencia del convertidor

$$V_e \cdot t_{ON} = V_{prim} \cdot t_{OFF}$$

donde: $V_{prim} = V_o \cdot r_t$; $t_{ON} = d \cdot T$ y $t_{OFF} = (1 - d)T$ con $T = \frac{1}{f}$ ya que es el periodo de conmutación del circuito de disparo, y donde f es la frecuencia de conmutación. Y donde r_t

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

sería la relación de transformación del transformador, que es la relación que hay entre el número de espiras del devanado primario y el secundario.

$$r_t = \frac{N_1}{N_2}$$

Por tanto, sustituyendo V_{prim} , t_{ON} , t_{OFF} y despejando adecuadamente se llega a la formula:

$$V_e \cdot dT = V_o \cdot r_t \cdot (1 - d)T \rightarrow \frac{V_o}{V_e} = \frac{d}{r_t \cdot (1 - d)} \rightarrow V_o = \frac{V_e \cdot d}{r_t \cdot (1 - d)}$$

De la figura del convertidor se puede deducir que:

$$\overline{i_{Lm}} = \overline{i_e} + \frac{\overline{i_o}}{r_t}$$

Se sabe que $\overline{i_e} = \frac{P_e}{V_e}$ y que $\overline{i_o} = \frac{P_o}{V_o}$ si se sustituye P_o y V_e de las formulas halladas anteriormente se obtiene que la corriente media de la bobina es:

$$\overline{i_{Lm}} = \frac{V_o}{R \cdot r_t \cdot (1 - d)}$$

Diseño de la inductancia magnetizante y del condensador.

Tanto el incremento de la tensión de salida (ΔV_o) como el rizado de corriente de la bobina (Δi_l) que va a permitir, será un porcentaje fijado por defecto.

Se puede deducir como será el incremento de corriente en la bobina mediante la siguiente fórmula.

$$\Delta I_{Lm} = \frac{1}{Lm} \int V_{Lm} dT = \frac{1}{Lm} \cdot V_e \cdot dT = \frac{1}{Lm} \cdot V_o \cdot r_t \cdot (1 - d)T$$

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Y si se despeja de la ecuación (Lm) se tiene el valor de la inductancia.

$$Lm = \frac{V_o \cdot r_t \cdot (1 - d)}{\Delta I_{Lm} \cdot f}$$

Y sabiendo que el rizado de tensión a la salida y el del condensador es el mismo se deduce que:

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{\Delta V_c}{V_c}$$

Y que la corriente del condensador tiene valor medio nulo ($\bar{i}_c = 0$), se puede obtener el incremento de la tensión del condensador integrando la corriente respecto del tiempo. La forma de onda del condensador y sus valores también se pueden obtener de la figura 15.

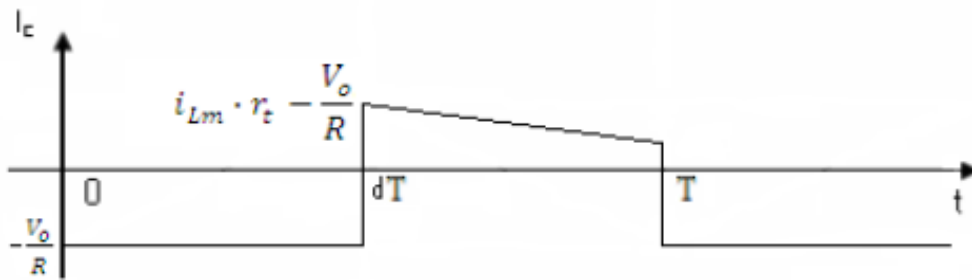


Figura 15: Forma de onda de corriente del condensador.

$$\Delta V_c = \frac{1}{C} \int i_c dT = \frac{1}{C} \frac{V_o}{R} dT$$

Se despeja de la ecuación del incremento de la bobina y sabiendo que $\Delta V_c = \Delta V_o$ y que $T = \frac{1}{f}$ nos queda la siguiente ecuación para obtener el valor del condensador:

$$C = \frac{V_o \cdot d}{\Delta V_c \cdot f \cdot R}$$

Si se quiere trabajar en la frontera entre MCC y MCD que es el caso más desfavorable, así se obtendría el valor crítico de L y el valor de C variara en consecuencia.

En la figura 16, se muestran las formas de onda de los distintos elementos del convertidor (flyback). Como son la tensión de la bobina (V_{lm}), la intensidad de la bobina (I_{lm}), tensión del MOSFET (V_{mos}), tensión del diodo (V_d) e intensidad del condensador (I_c).

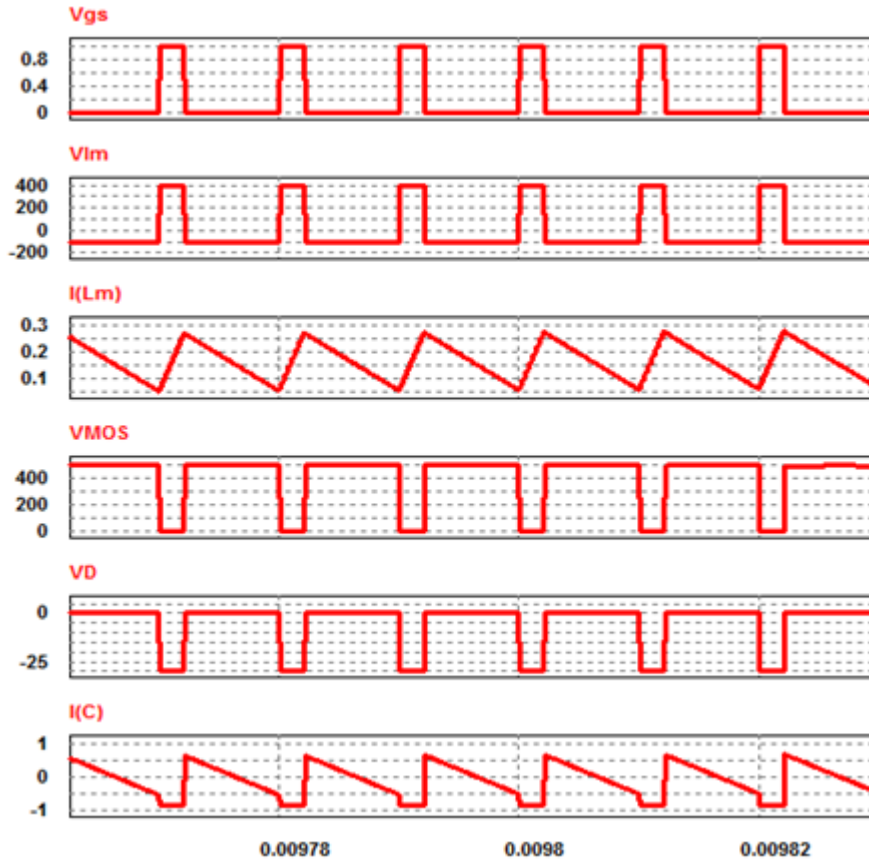


Figura 16: Forma de onda del convertidor flyback en MCC.

Para el cálculo de las potencias disipadas por los distintos componentes que forman el convertidor, se necesita calcular la corriente media y eficaz de cada uno de estos elementos, las tensiones del mosfet (que actúa como interruptor) y el diodo.

Así, para una corriente de forma triangular con un valor medio no nulo, se tiene:

$$I_{LmRMS} = \overline{i_{Lm}} \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta I_{Lm}/2}{\overline{i_{Lm}}} \right)^2}$$

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

El valor eficaz de una trapezoidal con offset se calcula de la siguiente manera:

$$I_{C_{RMS}} = \sqrt{iD_{RMS}^2 - \frac{2 \cdot U_o \cdot \Delta U_o}{R} + \left(\frac{U_o}{R}\right)^2}$$

Para el transistor MOSFET en función del ciclo de trabajo:

$$\overline{i_{MOSFET}} = \overline{i_{Lm}} \cdot d \quad I_{MOSFET_{RMS}} = \overline{i_{Lm}} \cdot \sqrt{d} \quad V_{DS_{max}} = V_o$$

Para el diodo el valor medio y eficaz de corriente depende también de su ciclo de trabajo.

$$\overline{i_D} = \frac{U_o}{R} \quad I_{D_{RMS}} = \sqrt{(1-d)} \cdot i_{Lm_{RMS}} \cdot r_t \quad V_{ak} = \frac{U_e}{r_t}$$

Con todos estos parámetros conocidos, ya es posible calcular la potencia que disipa cada uno de los componentes.

La potencia del MOSFET se calcula:

$$P_{MOSFET} = (I_{MOSFET_{RMS}})^2 \cdot R_{DS_{ON}}$$

Donde $R_{DS_{ON}}$ es la resistencia en conducción del MOSFET.

La potencia disipada por los diodos se calcula:

$$P_D = V_D \cdot \overline{i_D} + r_D \cdot (I_{D_{RMS}})^2$$

Donde V_D es la tensión umbral del diodo, r_D es la resistencia dinámica del diodo en conducción.

3.3.3 Cálculo de las pérdidas en el condensador:

$$P_c = \frac{R_{ESR}}{N^{\circ} \text{ cond}} \cdot (I_{C_{RMS}})^2$$

Donde R_{ESR} es la resistencia equivalente serie del condensador. El parámetro $N^{\circ} \text{ cond}$ es el número de condensadores en paralelo requeridos para conseguir la capacidad necesaria.

A continuación, se explica el criterio seguido para elegir cada uno de los componentes con los cálculos realizados. Estos criterios, pretenden que los componentes seleccionados sean los más adecuados para que puedan cumplir su función en el convertidor.

El transistor MOSFET que se seleccione habrá de poder soportar la tensión máxima cuando no conduce el MOSFET (V_{DS}) y la corriente media del MOSFET en conducción (I_{DS}). Los componentes elegidos de esta forma podrán tener una tensión un 50% mayor así como la corriente contara también con un 20% de margen de seguridad en el diseño.

El diodo es necesario que tenga el valor de tensión inversa máxima de pico repetitivo (V_{RRM}) como mínimo y un 50% mayor como máximo.

Los condensadores cuyo valor sea de $V_c = V_o$ como mínimo y el doble como máximo se consideraran validos. Con la fórmula siguiente se calculara el número de condensadores.

$$N^{\circ} \text{ condensadores} = \frac{I_{C_{RMS}}}{I_{C_{RMS}} \text{ catalogos}}$$

Siendo asumible hasta un máximo de 4 condensadores en paralelo.

3.4. Transformador

Núcleo

Para el diseño del transformador se ha tomado como referencia 10W.

Dependiendo de la aplicación que vaya a tener el transformador convendrá una u otra forma para su núcleo. En este caso se ha optado por núcleos de forma EFD 15. La información de las siguientes tablas se puede consultar a través del fabricante Ferroxcube.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

La elección del tamaño del núcleo, viene dada en función de la potencia.

POTENCIA (W)	TIPO DE NÚCLEO
<5	RM4, P11/7, T14, EF13, U10
5 a 10	RM5, P14/8
10 a 20	RM6S, E20, P18/11, T23, U15, EFD15
20 a 50	RM8, P22/13, U20, RM10, ETD29, E25, T26/10, EFD20
50 a 100	ETD29, ETD34, EC35, EC41, RM12, P30/19, T26/20, EFD25
100 a 200	ETD34, ETD39, ETD44, EC41, EC52, RM14, P36/22, E30, T58, U25, U30, E42, EFD30
200 a 500	ETD44, ETD49, E55, EC52, E42, P42/29, U67
>500	E65, EC70, U93, U100, P66/56, PM87, PM114, T140

Tabla 1: Elección del tamaño del núcleo en función de la potencia. Núcleos de Ferroxcube

En la elección del material magnético del núcleo, se busca aquél que tenga las menores pérdidas a la frecuencia a la que se va a trabajar.

MATERIAL	FRECUENCIA(KHZ)
3C80	<100
3C85	<200
3C90	<200
3F3	>200
3F4	>2000
4F1	>10000

Tabla 2: Elección del material del núcleo en función de la frecuencia. Materiales de Ferroxcube

Dada la selección del tipo de núcleo (EDF 15), y del tamaño con el que se va a trabajar, los materiales del núcleo a los que se tienen acceso en definitiva son 3C85 y 3F3.

Inducción magnética máxima

Con idea de simplificar el diseño del transformador, se utilizara cable sólido de cobre independientemente de cuál sea la frecuencia de trabajo.

El primer paso es determinar la inducción magnética máxima ($B_{m\acute{a}x}$) que puede alcanzar el material sin saturarse. Este valor es clave para calcular, entre otras cosas, las pérdidas en el núcleo.

Siempre debe evitarse saturar el material magnético, es decir, alcanzar la inducción de saturación (generalmente para una temperatura de 100°C). Este valor no debe superarse nunca, ni siquiera en régimen transitorio, cuando, en un momento dado, se aplica toda la carga y se

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

demanda la potencia máxima. Entonces se da el peor caso, ya que es cuando se alcanzan los valores máximos de tensión y ciclo de trabajo.

Para los materiales que se van a utilizar en el núcleo del transformador tenemos una $B_{sat} = 500mT$

El criterio para determinar la inducción máxima que puede alcanzarse sin saturar el material:

FRECUENCIA (KHZ)	$B_{m\acute{a}x}$
≤ 50	$0.65 \cdot B_{sat}$
$>50 \text{ ó } <150$	$0.5 \cdot B_{sat}$
≥ 150	$0.4 \cdot B_{sat}$

Tabla 3: Determinación de $B_{m\acute{a}x}$ en función de la frecuencia

Según el tipo de flujo el incremento de la inducción magnética toma un determinado valor:

- Flujo centrado en el origen: $\Delta B = 2B_{m\acute{a}x}$
- Flujo situado en el primer cuadrante: $\Delta B = B_{m\acute{a}x}$

La diferencia entre ambos tipos de flujo puede verse en la figura 17.

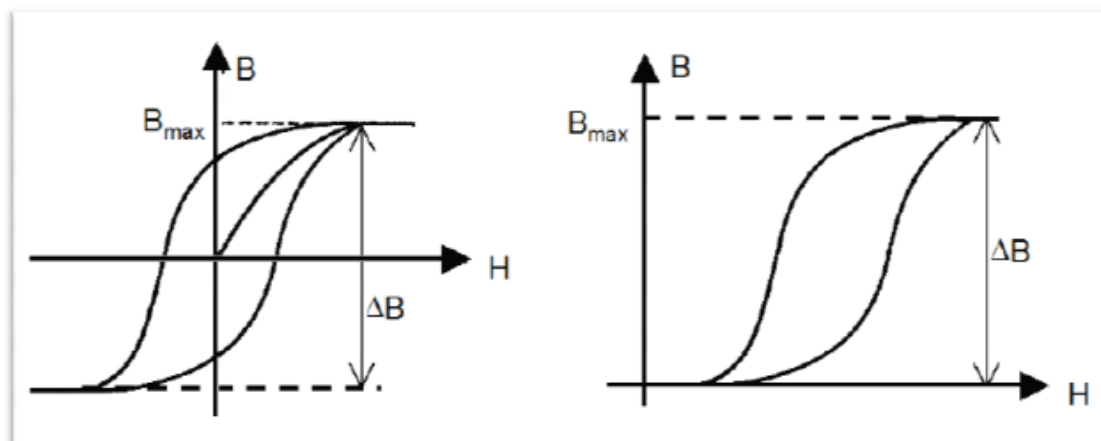


Figura 17: tipos de flujos

Para los cálculos sucesivos se tendrá en cuenta el flujo centrado en el origen. Esto implica, que la desmagnetización del transformador se realiza utilizando una rama de enclavamiento activo.

Determinación del número de espiras

En el cálculo del número de espiras correspondiente a cada uno de los devanados, es necesario saber el valor de la inductancia magnetizante, así como, el de la corriente máxima que va a soportar la misma. Despejando del desarrollo se obtendrá el valor de la inductancia magnetizante y la corriente máxima es el resultado de sumar a su valor medio la mitad del incremento posible.

$$L_m = \frac{V_e \cdot d}{\Delta I_{Lm_{max}} \cdot f} \quad \Delta I_{Lm_{max}} = \frac{\Delta I_{Lm_{max}}}{2} + \overline{i_{Lm}}$$

Dependiendo del valor de la relación de transformación se distingue entre transformadores reductores y elevadores.

Se dice que un transformador es reductor cuando la tensión de salida es menor que la tensión de entrada, es decir, el número de espiras del primario es mayor que el del secundario y la relación de transformación, por tanto, es mayor que uno. Un transformador es elevador en el caso contrario, cuando la tensión de salida es mayor que la de entrada, y consecuentemente, su relación de transformación es menor que uno.

El cálculo del número de espiras, se realiza de distinta forma dependiendo de si la relación de transformación es mayor o menor que uno, es decir, si el transformador es reductor o elevador. La razón es que de esta forma, siempre se va a considerar un número de espiras entero.

Si no fuera de este modo, al calcular en primer lugar el número de espiras del primario o del secundario, podría llegarse a tener que rehacer los cálculos en varias ocasiones, puesto que se trata de una variable entera y hay que efectuar redondeos.

Por ejemplo, si primero se calcula siempre el número de espiras del primario, puede resultar un número menor que uno, que por tanto se aproxima a la unidad. Entonces, si el transformador es elevador, el número de vueltas del secundario es menor que el del primario, y también resultaría un número menor que uno que habría que redondear a uno. Para mantener la relación de transformación el número de vueltas del primario tendría que modificarse en consonancia.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Por tanto, es mejor primero observar el valor de la relación de transformación. Si es menor que uno (transformador elevador), se calcula primero el número de espiras del primario, se redondea su valor, y a partir de él, se obtienen las vueltas del secundario. Si la relación de transformación es mayor que uno (transformador reductor), se calculan primero las vueltas en el secundario, se redondea su valor, y luego, aplicando la relación de transformación, se calcula el número de espiras del primario.

Para una forma de tensión en la que la tensión se mantiene constante durante el tiempo de encendido t_{on} , que es la que soportan los transformadores de los convertidores CC-CC, el cálculo del número de espiras se realizaría del siguiente modo para un transformador de dos devanados:

· Transformador reductor: $r_T > 1 (N_1 > N_2)$

$$N_2 = \frac{L_m \cdot i_{Lm_{max}}}{B_{max} \cdot A_e \cdot r_T}$$

Donde:

A_e es el área efectiva del núcleo en mm^2

Y una vez redondeado al entero superior el número de espiras del secundario se calcula el número de espiras del primario:

$$N_1 = N_2 \cdot r_T$$

• Transformador elevador: $r_T \leq 1 (N_1 < N_2)$

$$N_1 = \frac{L_m \cdot i_{Lm_{max}}}{B_{max} \cdot A_e}$$

Y una vez redondeado al entero superior el número de espiras del primario se calcula el número de espiras del secundario:

$$N_2 = \frac{N_1}{r_T}$$

Elección del conductor

En los conductores de cobre presentan un fenómeno conocido como *profundidad pelicular* o *efecto skin*. La corriente que circula por un conductor de cobre genera un campo magnético el cual a su vez genera otro tipo de corrientes que fluyen en dirección opuesta a la corriente del interior del cable. Esto resulta en una densidad de corriente mayor en la superficie del conductor que en su interior. La profundidad pelicular viene dada por la siguiente ecuación:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{\pi f\mu\sigma}}$$

Donde:

δ es la profundidad pelicular en m,

f es la frecuencia de la corriente que circula por el conductor en Hz,

μ es la permeabilidad del cobre en H/m,

σ es la conductividad del cobre en S/m.

La permeabilidad relativa del cobre es aproximadamente 1 y la del vacío $4\pi 10^{-7}$ por lo que $\mu = 4\pi 10^{-7}$ (H/m), y la conductividad es igual a 5.8×10^7 (S/m) a 27°C. Si se sustituyen los valores de permeabilidad, conductividad y se simplifica, se obtendría una expresión que solo relaciona la profundidad pelicular con respecto a la frecuencia, tal como se ve en la formula siguiente.

$$\delta = \frac{0.06608}{\sqrt{f}}$$

Si la sección del conductor utilizado es significativamente mayor que la profundidad pelicular, la mayor parte de la corriente estará concentrada en su superficie. El resultado es que la resistencia del conductor será mayor cuanto menor sea la sección transversal efectiva para el flujo de corriente.

La solución al problema de la profundidad pelicular es usar conductores con un radio del orden de la profundidad pelicular. Si d es el diámetro del conductor, se propone que si $d < 2\delta$ las consecuencias de la profundidad pelicular se pueden despreciar.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

La densidad de corriente J_{rms} , es la corriente I_{rms} por unidad de área, tal como lo indica la ecuación

$$J_{rms} = \frac{I_{rms}}{S_{CU}}$$

Donde:

J_{rms} es la densidad de corriente en A/mm²,

I_{rms} es la corriente del cobre en A,

S_{CU} es la sección del conductor en mm².

Dado que en este proyecto solo se han tenido en cuenta conductores de cobre cilíndricos, el área de la sección del conductor es $S_{CU} = \pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2$.

Sustituyendo y despejando ϕ en la ecuación anterior se obtiene el siguiente resultado

$$\phi = \sqrt{\frac{4I_{rms}}{\pi J_{rms}}}$$

Para el diseño de este transformador se propone un valor por defecto de $J_{rms} = 10 \text{ A/mm}^2$.

Para el diámetro del conductor del primario $I_{rms} = I_{MOTFETrms}$ mientras que para el diámetro del secundario $I_{rms} = I_{D1rms}$.

Los conductores que se van a bobinar serán elegidos según la referencia de clasificación de diámetros AWG (American Wire Gauge).

Una vez calculado el efecto pelicular (δ) y el diámetro (ϕ) se lleva a cabo la siguiente comparación:

- Si $\phi \leq 2\delta$ se escoge de la tabla AWG el cable de diámetro inmediatamente superior al calculado ϕ
- Si $\phi > 2\delta$ se escoge de la tabla AWG el cable de diámetro inmediatamente superior al valor 2δ .

Una vez elegido el cable adecuado de la tabla AWG, además del diámetro, se obtiene también la sección del mismo.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

El número de conductores en paralelo necesarios viene dado por el siguiente criterio:

- Si $\phi \leq 2\delta$ el número de conductores en paralelo (N_p) necesario es 1.
- Si $\phi > 2\delta$ el número de conductores en paralelo (N_p) necesario se calcula de la siguiente manera:

$$N_p = \frac{\phi}{2\delta}$$

Y se tiene como N_p el resultado de este cociente redondeado al entero superior.

La resistencia del conductor se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\rho \cdot N \cdot MLT}{s \cdot N_p}$$

Donde:

$\rho = 1.7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot mm$ es la resistividad del cobre,

N es el número de espiras del devanado correspondiente,

MLT (Medium Length Turn) es la longitud media por vuelta del conductor en mm (dato accesible desde el catalogo de carretes),

s es la sección del conductor en mm^2 ,

N_p es el número de conductores en paralelo del devanado.

Como es lógico los cálculos correspondientes a diámetro, sección, número de conductores en paralelo y resistencia han de llevarse a cabo una vez para cada uno de los devanados.

Ocupación del área de ventana

En el convertidor flyback es necesario calcular dos parámetros más: la reluctancia magnética y el espesor del entrehierro (l_{gap}).

La reluctancia magnética de un material, es la resistencia que este posee al verse influenciado por un campo magnético. Se calcula de la siguiente manera:

$$\mathcal{R} = \frac{N_1^2}{L_m}$$

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

donde N_1 es el número de espiras del primario y L_m el valor de la inductancia magnetizante (H).

El espesor del entrehierro se calcula con la siguiente expresión:

$$l_{gap} = \mu_o \cdot A_e \cdot \left(\mathcal{R} - \frac{1}{A_L} \right)$$

Donde l_{gap} es el espesor del entrehierro (m),

μ_o es la permeabilidad magnética del vacío (H/m),

A_e es el área efectiva del núcleo (m^2),

\mathcal{R} es la reluctancia magnética,

Y A_L es la inductancia por número de espiras al cuadrado.

Pérdidas del transformador

Para calcular las pérdidas que tienen lugar en el transformador, hay que tener en cuenta las que se producen en el núcleo y las que se deben a cada uno de los conductores.

$$P_{TOTALES} = P_{NÚCLEO} + P_{CONDUCTOR1} + P_{CONDUCTOR2}$$

Las pérdidas de un núcleo de ferrita, se deben principalmente al fenómeno de histéresis, puesto que la energía que se emplea en magnetizar el núcleo no es íntegramente devuelta al desmagnetizar el material. Las perdidas por corrientes parasitas dependen del volumen del núcleo; en nuestro caso las dimensiones de los núcleos son suficientemente pequeñas para despreciar las corrientes parásitas.

Mediante regresión por mínimos cuadrados se puede determinar una formula con la que calcular las perdidas en la ferrita como una función de la frecuencia y la inducción magnética.

$$P_{NÚCLEO} = (C_m \cdot f^x \cdot B_{máx}^y \cdot V_e)$$

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Donde:

$P_{NÚCLEO}$ son las perdidas en el nucleo (W),

f es la frecuencia (Hz),

B es la inducción magnética máxima (T),

C_m , x, y son constantes calculadas para el ajuste de la curva.

V_e es el volumen efectivo del núcleo (mm³).

En la tabla siguiente, se muestran las constantes para distintos materiales y el rango de frecuencias en que son validas.

MATERIAL	FRECUENCIA (kHz)	Cm	x	y
3C80	10 - 100	16.7	1.3	2.5
3C81	10 - 100	7	1.4	2.5
3C85	20 - 100	11	1.3	2.5
3C85	100 - 200	1.5	1.5	2.6
3F3	20 - 300	0.25	1.6	2.5
3F3	300 - 500	2.00E-02	1.8	2.5
3F3	500 - 1000	3.60E-06	2.4	2.25
3F4	500 - 1000	1.20E-01	1.75	2.9
3F4	1000 - 3000	1.10E-08	2.8	2.4
4F1	3000 - 10000	9	1.35	2.25

Tabla 4: Coeficientes para calcular las pérdidas de cada material.

Por último, para calcular las perdidas en cada uno de los conductores se utilizará la siguiente expresión:

$$P_{CONDUCTORI} = R_i \cdot I_{rms}^2$$

Donde:

i identifica el conductor 1 ó 2 según proceda,

R_i es la resistencia del conductor 1 ó 2

I_{rms} para el conductor del primario mientras que para el conductor del secundario

$$I_{rms} = i_{D1rms}.$$

3.5. Diseño de los componentes.

Se aprecia en la figura 18, un esquemático del circuito a construir en el cual se aprecian los componentes que se van a explicar a continuación.

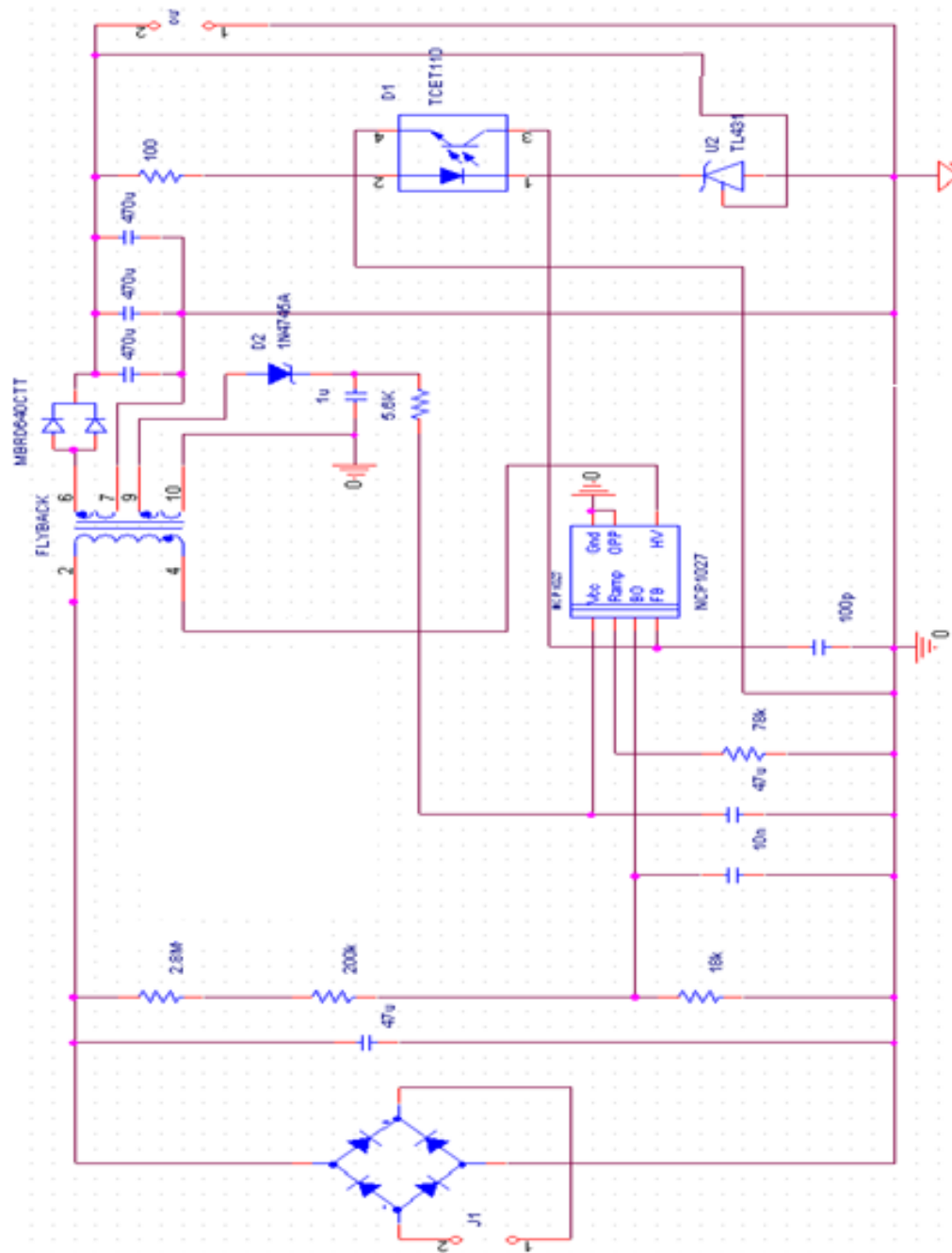


Figura 18: Esquemático de Circuito.

3.5.1 Transformador.

El transformador que se ha elegido para desarrollar el prototipo es el siguiente (DA2077-AL) ya que es el que se adecua a nuestras necesidades, que eran la tensión de entrada, la tensión de salida y la potencia, donde este transformador puede trabajar entre tensiones de entrada de 85-265 Vac y con una tensión de salida DC de 5V a 2A para una potencia de 10W.

Este transformador puede trabajar entre un rango de frecuencias de 65 Khz a 100 Khz. Tiene un aislamiento del primario al secundario de 2000Vrms durante un minuto. La inductancia magnetizante es muy pequeña ($114 \mu\text{H}$) y la resistencia magnetizante es de (2.53Ω). También hay que destacar que dicho transformador es más robusto, tiene mejor acabado y posee un tercer devanado para conseguir la alimentación auxiliar. Lo que hace que sea la mejor opción para el modelado de nuestro circuito. Se muestra una imagen del transformador en la figura 19.



Figura 19: Transformador (DA2077-AL).

3.4.1 MOSFET

El circuito integrado NCP1027 ofrece una nueva solución de fijar unos niveles de potencia bajos de salida hasta 15 W, en una aplicación de flyback de red universal. Trabajando entre frecuencias de 65KHz-100KHz. Este dispositivo incluye un MOSFET el cual puede soportar 700 V junto con una fuente de corriente de arranque la cual ayuda al disparo de MOSFET. Posee un circuito de auto protección contra cortocircuitos, su funcionamiento es en modo de corriente, también posee un controlador que junto con una rampa ajustable

de compensación. También cabe destacar que es muy fácil de alimentar por lo que hace que este dispositivo sea ideal para el desarrollo del circuito, se muestra en la figura 20.



Figura 20: Circuito integrado NCP1027.

3.4.2 *Optoacoplador*

Un optoacoplador es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónico, normalmente en forma de fototransistor. De este modo, se combinan en un solo dispositivo semiconductor, un fotoemisor y un fotorreceptor cuya conexión entre ambos es óptica. Estos elementos se encuentran dentro de un encapsulado que por lo general es del tipo DIP. Se suelen utilizar para aislar eléctricamente a dispositivos muy sensibles.

Principales características:

AISLAMIENTO:

- **DE VOLTAJE:** El separador físico que dispone el optoacoplador nos separa la entrada de la salida. Esta es la principal característica de los optoacopladores. Ya pueden resistir grandes diferencias de potencial, gracias a la construcción del dispositivo que es su empaquetamiento.
- **DEL RUIDO:** el ruido que pueda entrar al optoacoplador es separado de la salida mediante el acople del mismo, ya que el ruido que pasa por el diodo es eliminado.

GANANCIA DE CORRIENTE: La ganancia de corriente de un optoacoplador es en gran medida determinada por la eficiencia de los sensores npn y por el tipo de transmisión usada.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Por lo que se elegirá el Cosmo 1010 ya que dicho dispositivo tiene un aislamiento de entrada frente a la salida de 5000Vrms, lo que hace más que suficiente para el aislamiento del dispositivo se muestra en la figura 21.



Figura 21: Optoacoplador cosmo 1010.

3.4.3 *Puente rectificador*

El puente rectificador es un circuito electrónico usado en la conversión de corriente alterna en corriente continua. Consiste en cuatro diodos comunes, que convierten una señal con partes positivas y negativas en una señal únicamente positiva. Un simple diodo permitiría quedarse con la parte positiva, pero el puente permite aprovechar también la parte negativa.

Por lo que se elegirá en rectificador de VISHAY - 2W04G-E4/51 el cual tiene una tensión repetitiva de 400Vrms y una corriente directa de 2A. Se muestra en la figura 22.



Figura 22: Puente rectificador VISHAY.

3.4.4 *Diodo*

Un diodo es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido. Este término generalmente se usa para referirse al diodo semiconductor, por lo que se elige el MBRD640CTT4 este diodo lo único que tiene de especial es que

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

está construido con dos diodos en paralelo y es más robusto frente a un diodo normal como se muestra en la figura 23.



Figura 23: Diodo MBRD640CTT4.

3.4.5 Condensador equivalente al filtro Pi

Para tener el mismo efecto en el rizado de la salida sin un filtro Pi se tendría que colocar un condensador en paralelo, el cual sería más grande que todo nuestro circuito entero como se muestra en la figura 24.



Figura 24: condensador equivalente de 116 mF.

Cálculo del condensador equivalente

$$\Delta V_o = \frac{1}{c} \int i_o dT = C = \frac{I_o \cdot d}{f \cdot \Delta V_o} = \frac{2 \cdot 0,21}{100 \cdot 0,0362} = 0.116 \text{ F} = 116\text{mF}$$

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

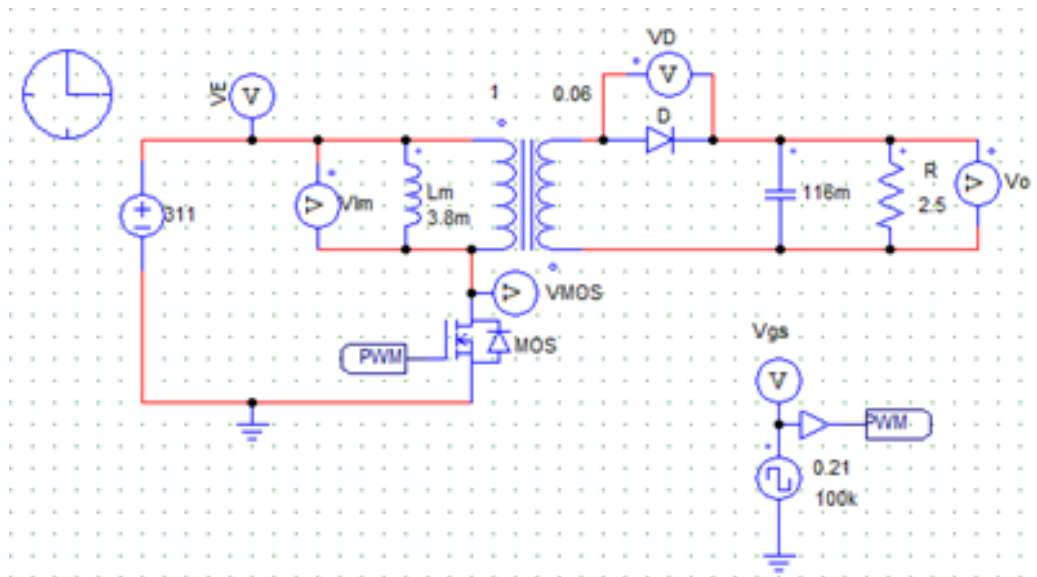


Figura 25: Esquemático de Circuito.

Con este condensador, se puede ver que si se elimina el rizado de la salida como se ve en la figura 26, pero como uno de los objetivos es el de reducir el tamaño, se elige la elección del filtro Pi.

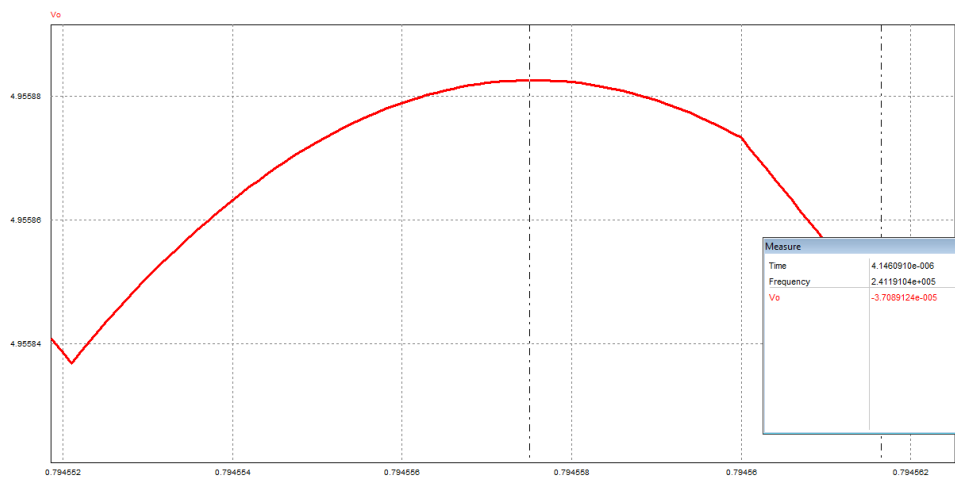


Figura 26: Forma de onda de la salida

4. Validación del diseño por simulación.

4.1 Flyback con rectificador.

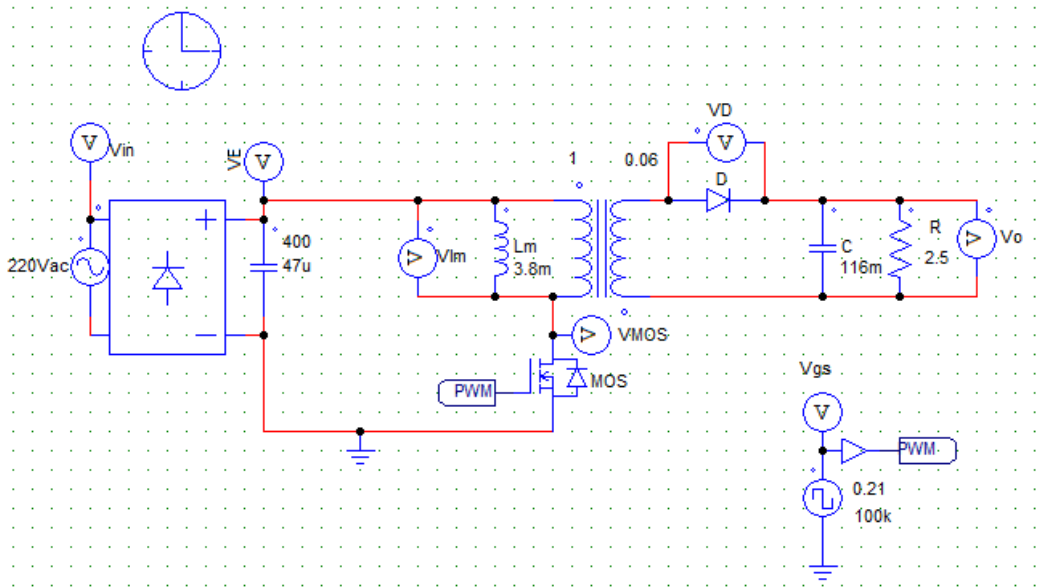


Figura 27: Circuito flyback con rectificador

Como se puede observar en la simulación de la figura 28, la tensión de entrada (V_{in}) es de 220 Vac de alterna, 311V de pico antes del rectificador y después del rectificador oscila entre 306 y 311V de continua con un rizado que depende del valor del condensador y de la potencia consumida por el circuito. Por lo cual en las siguientes simulaciones se simularan los circuitos sin rectificador y sin condensador de 400V. Para simplificar las simulaciones a realizar, ya que en las simulaciones no tiene transcendencia que esté puesto.

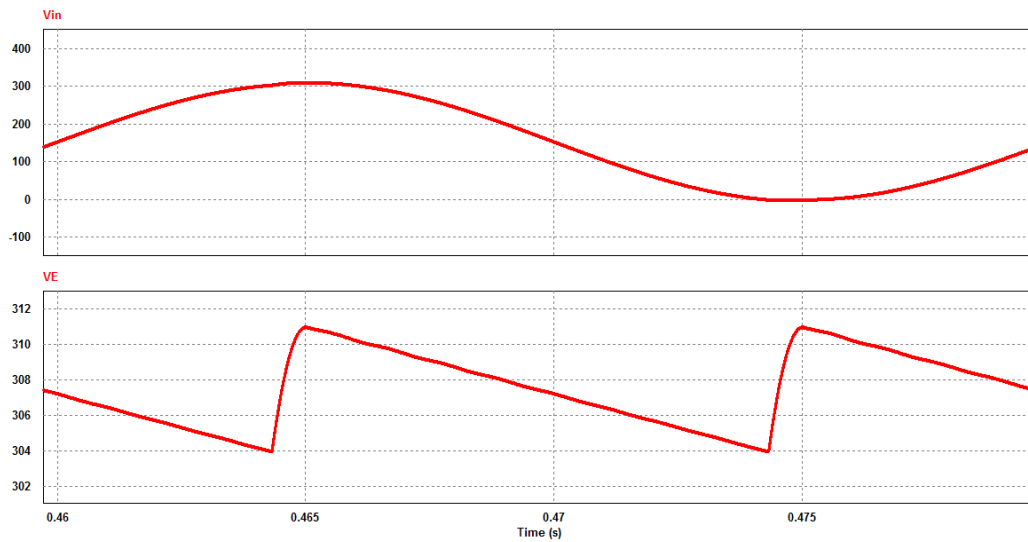


Figura 28: Forma de ondas antes y después del rectificador

Aunque en el circuito original no se pueda prescindir de ellos ya que se tiene que rectificar la onda de entrada.

4.2 Calculo de flyback

Características del circuito.

$$N_p/N_s = 1/0.061$$

$$L_m = 3.8\text{mH}$$

$$R_o = 2.5$$

$$V_o = 5\text{V}$$

$$V_e = 220\text{ V} = 220 \times \sqrt{2} = 311\text{ V}$$

$$F_{red} = 100\text{Khz}$$

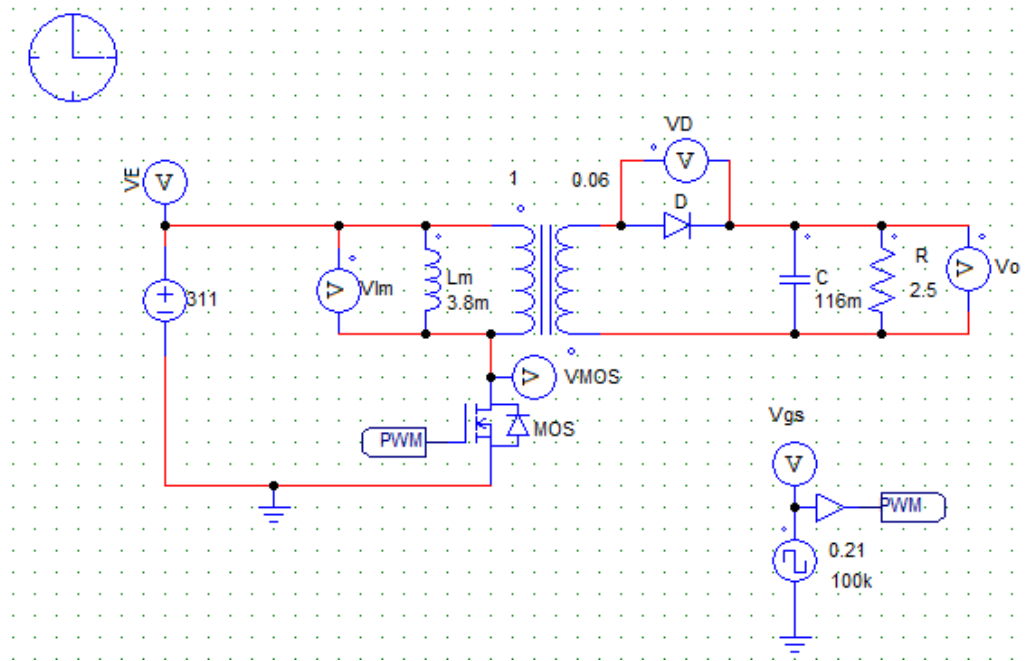


Figura 29: Circuito flyback completo

Pasos a seguir para el cálculo del flyback.

1. Se calcular el ciclo de trabajo.

$$D = \frac{V_o}{nV_e + V_o} = \frac{5}{0,06 \cdot 311 + 5} = \frac{5}{23,66} = 0,21$$

2. Se supone modo de conducción continuo (MCC), para poder utilizar las condiciones de régimen permanente.

$$\bar{V}_L = 0 ; \bar{i}_C = 0 ; P_E = P_o$$

$$V_e \cdot D - V_o(1 - d) \cdot \frac{N_1}{N_2} = 0$$

A continuación se calculara el rizado con la siguiente fórmula, ya que se dispone de todos los datos.

$$\Delta I = \frac{V_e \cdot d \cdot T}{L_m} = \frac{311 \cdot 0,21 \cdot \frac{1}{100Khz}}{3,8 mH} = 0,1718 A$$

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Como se puede observar en la figura 30, si se realiza la resta entre el valor máximo y mínimo de $I(lm)$ se aprecia que el rizado calculado coincide con el de la simulación.

$$0,25414 - 0,082277 = 0,17187 \text{ A}$$

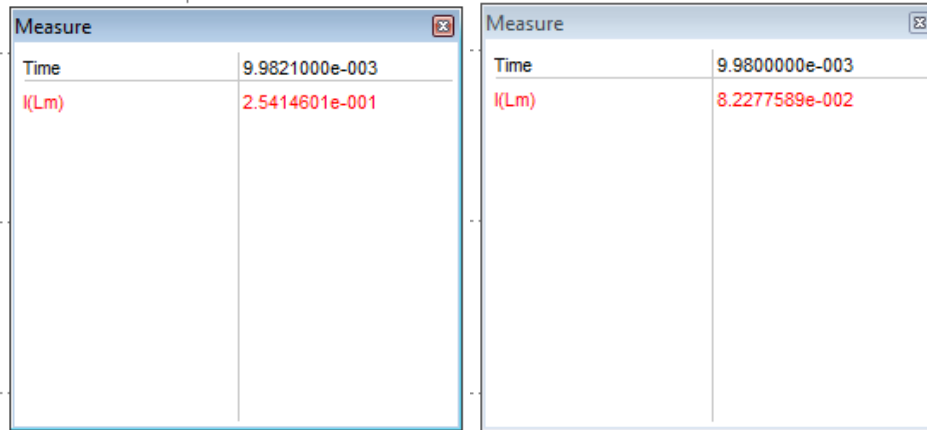


Figura 30: valores máximos y mínimos de $I(lm)$

A continuación se calcularán las intensidades de la bobina (I_{lm}), del MOSFET (I_s), del diodo (I_D) y de la resistencia (I_r).

$$I_{lm} = \frac{V_o^2}{V_e \cdot D \cdot R_o} = \frac{5^2}{311 \cdot 0,21 \cdot 2,5} = 0,153 \text{ A}$$

$$I_s = I_{lm} \cdot d = 0,032 \text{ A}$$

$$I_D = I_{lm} \cdot \frac{N_p}{N_s} = 2,46 \text{ A}$$

$$I_r = \frac{V_o}{R_o} = \frac{5}{2,5} = 2 \text{ A}$$

Ahora se puede ver en la figura 31, las intensidades por la bobina (I_{lm}), resistencia (I_r), MOSFET (I_{ms}) y condensador (I_c), como coinciden con las calculadas anteriormente.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

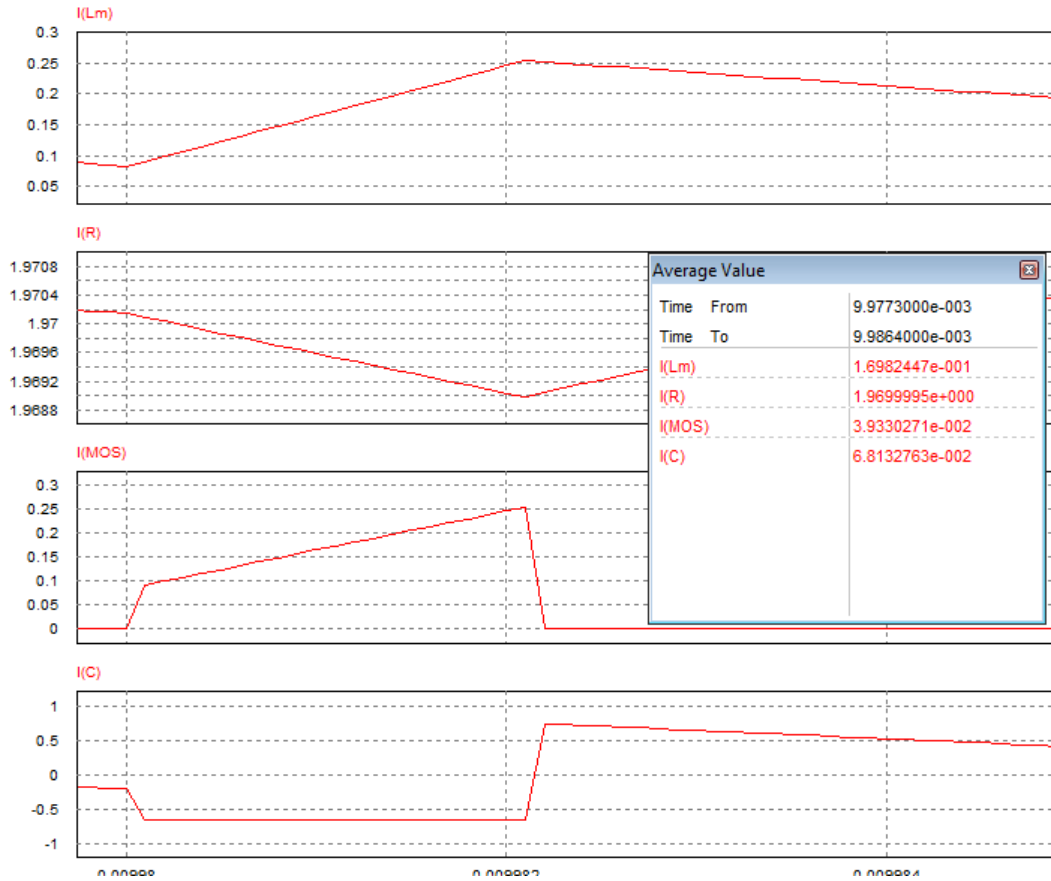


Figura 31: Formas de ondas

Posteriormente se calcula la intensidad máxima y mínima de la bobina y luego la potencia del circuito.

$$I_{l_{max}} = I_{lm} + \frac{1}{2} \Delta I = 0,254 \text{ A}$$

$$I_{l_{min}} = I_{lm} - \frac{1}{2} \Delta I = 0,0822 \text{ A}$$

$$P = \frac{V_o^2}{R_o} = \frac{25}{2,5} = 10 \text{ W}$$

$$MCC = \frac{1}{2} \Delta I < I_{lm}$$

$$MCD = \frac{1}{2} \Delta I > I_{lm}$$

Como se había supuesto $0,153 < 0,0859$ se encuentra en modo de conducción MCC por lo que los cálculos son validos para el transformador.

4.3 Flyback CC-CC (sin rectificador)

El diseño preliminar del convertidor se muestra en la figura 32.

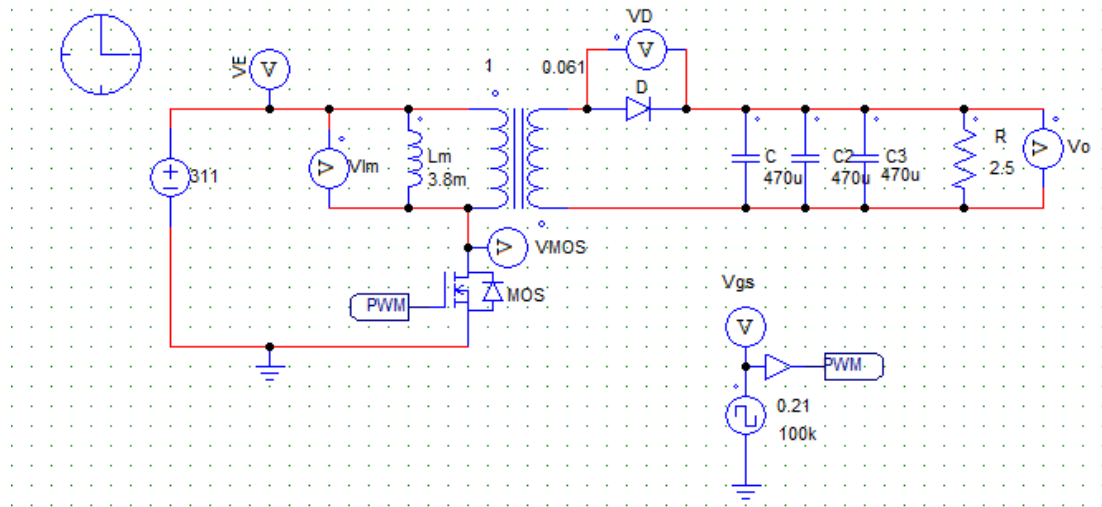


Figura 32: Circuito flyback

En la figura 33, se puede ver que el convertidor a la salida tiene un rizado al igual que 0.17A. Para conseguir este rizado, que se supone un 1 % del valor medio, es necesario emplear una capacidad total de 1410 μF , que se ha descompuesto en tres condensadores de 470 μF en paralelo para reducir su tamaño.

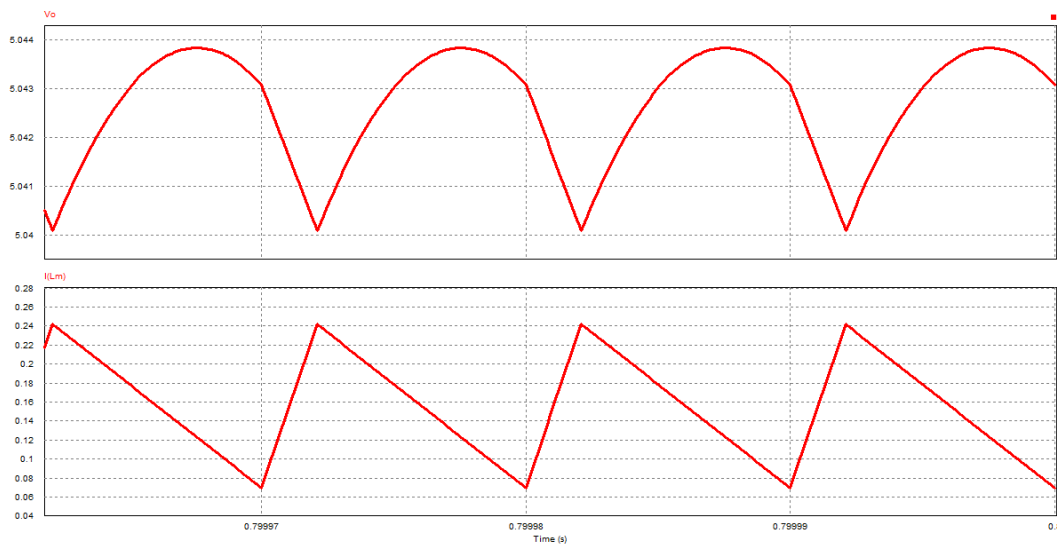


Figura 33: Formas de ondas del flyback

En la figura 34, se puede apreciar con mayor detalle las ondas de salida V_o y I_{lm} .

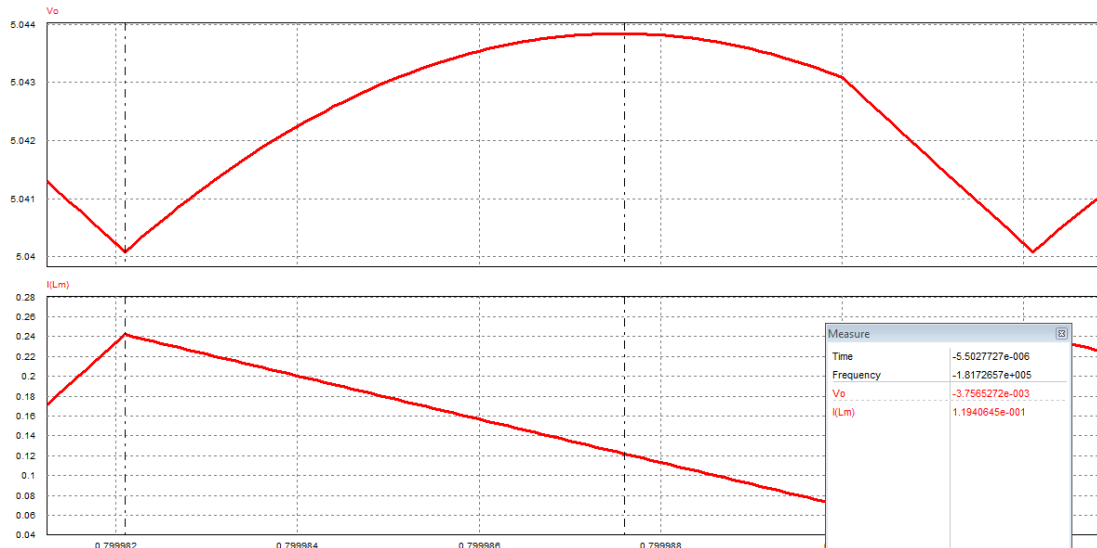


Figura 34: Formas de ondas ampliadas

4.4 Filtro pi

El filtro Pi se denomina así porque su configuración se asemeja a la forma de la letra griega.

A causa de que el primer elemento de filtro es el condensador C, se le denomina filtro de entrada por condensador.

Una característica de este equipo de filtro es que **proporciona la máxima tensión de salida a la carga**. Como se necesitan condensadores grandes, C, C2, C3 y C5 son electrolíticos, conectados con la polaridad indicada. El máximo valor del condensador de entrada que se puede utilizar en un rectificador en condiciones de seguridad es ordinariamente especificado en las instrucciones del fabricante.

La inductancia con núcleo de hierro (L) que se colocaran en serie constituye el divisor de tensión C.C.

Para corrientes de cargas mayores se requiere una inductancia grande con baja resistencia interna. La inductancia con núcleo de hierro está relacionada directamente con su efectividad como elemento de filtro. Una característica del choque es que se opone a la variaciones de corriente, mientras los condensadores a las variaciones de tensión. El filtro tiende a promediar o alisar los impulsos

rectificados corrigiendo el rizado, suministrando así una tensión relativamente estable a la carga.

La salida de la tensión de C.C. se designa por +V. El valor de +V depende, pues, de la tensión de C.A. entre los extremos del secundario de alta tensión, de las dimensiones del condensador de filtro y del choque, y del valor de la corriente de carga. En vacío o sin carga el valor de C.C. de salida es aproximadamente igual a la tensión de cresta de cada arrollamiento secundario del transformador, es decir, desde cualquier ánodo hasta el punto común.

Para dispositivos de tubos de vacío que requieren tensiones mucho más elevadas que los circuitos de estado sólido, se emplean normalmente fuentes de alimentación con filtros CLC tipo PI, como podemos ver en la figura 35.

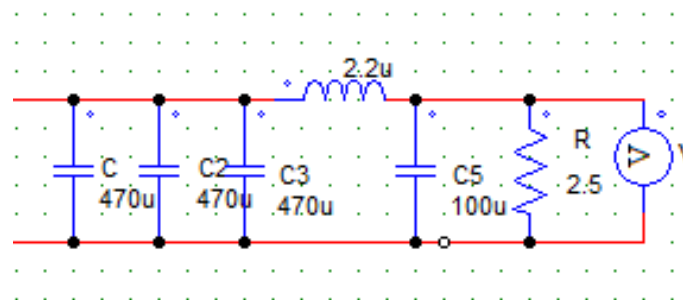


Figura 35: Filtro Pi

Los valores de los condensadores en filtros CLC son de 50 a 100 μF aproximadamente.

Rara vez se utiliza una resistencia R, en lugar de una bobina como elemento de filtro. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que una resistencia no es un elemento que filtra tan bien como una bobina. Por tanto, si los requisitos del circuito, o bien, las consideraciones de coste sugieren el uso de una resistencia en lugar de una bobina, será necesario utilizar condensadores de filtro C y C5 de mayor capacidad para compensar la ausencia de la bobina.

Para dispositivos de estado sólido que requieren tensiones bajas, se emplean fuentes reguladas o fuentes de alimentación con filtros CRC de tipo pi.

Para las fuentes filtradas CRC no es raro encontrarse condensadores de 500 a 1.000 μF . Los filtros CRC no se diseñan para suministros de alta tensión a causa de que

los condensadores electrolíticos de muy alta tensión son voluminosos y caros. Los condensadores electrolíticos de baja tensión son más baratos y menos voluminosos.

1. Los filtros se utilizan para aislar la salida pulsatoria de C.C. de los rectificadores. Los elementos de filtro son condensadores, bobinas y resistencias.
2. Cuando mayor es el valor de capacidad y de inductancia, mejor es la acción de filtraje de los filtros convencionales de tipo pi.
3. En fuentes de alimentación derivadas de línea se utilizan condensadores electrolíticos de filtro que proporcionan valores mayores de capacidad en unidades relativamente pequeñas.
4. La disposición más popular de filtro es una unidad de tipo pi, utilizando un condensador de entrada, bobina o una resistencia, y un condensador de salida, conectado como en la figura 35 antes citada.
5. Un filtro de entrada por condensador proporciona una tensión de salida más amplia o alta que un filtro de entrada por bobina. Un filtro de entrada por bobina proporciona mejor regulación.
6. La regulación de una fuente de alimentación es una indicación de cómo varía la tensión de salida con la carga. Una pequeña variación entre la tensión sin carga y la tensión a plena carga indica buena regulación. La regulación se puede mejorar añadiendo una bobina más al circuito.

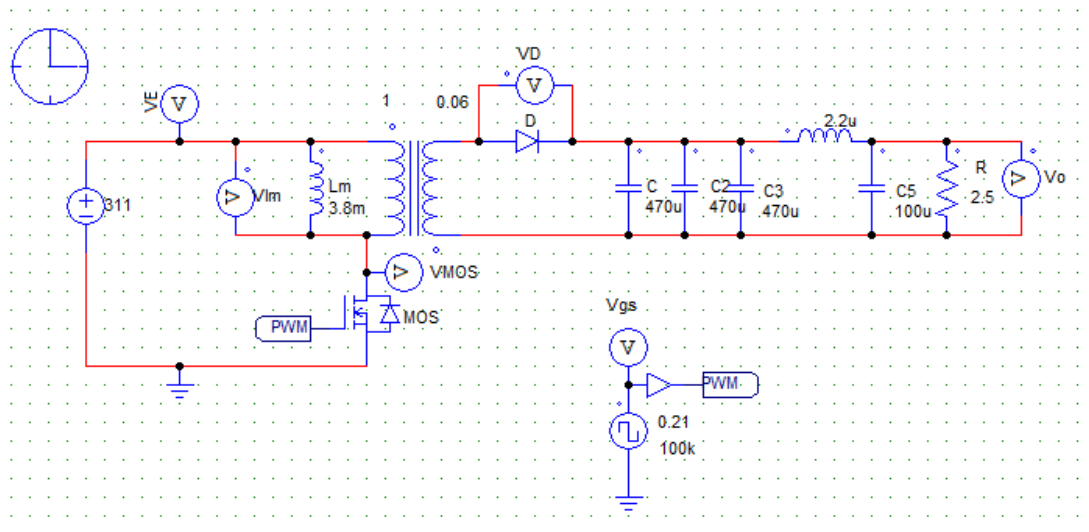


Figura 36: Circuito con filtro pi.

Como se puede observar en la figura 37, el rizado de salida es mucho menor, esto es debido al efecto del filtro P_i .

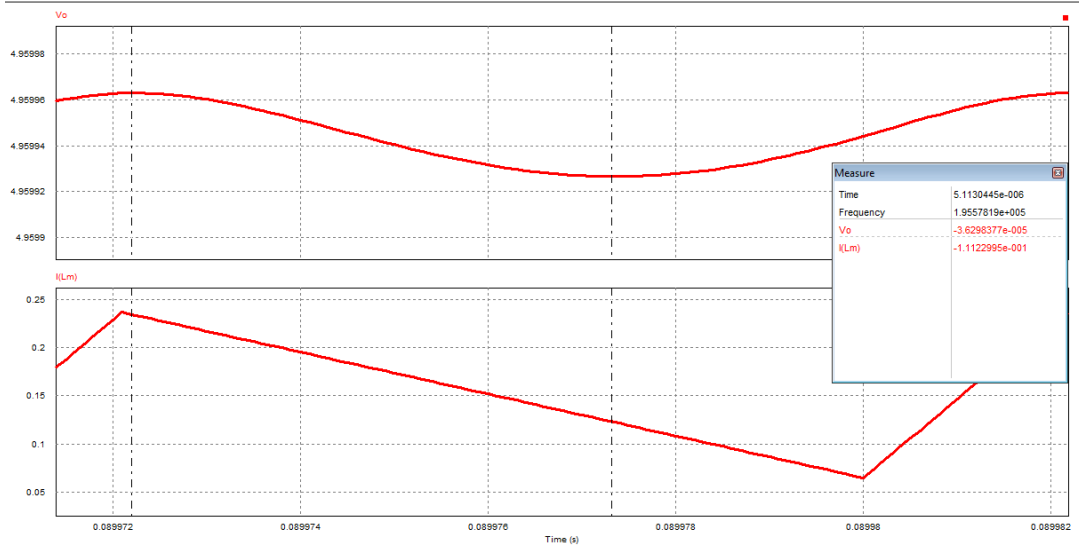


Figura 37: Conmutación de un transistor bipolar con carga.

Se consiguen las especificaciones de ΔV_o pero con menor tamaño de condensadores.

4.5 Analisis de la influencia de la inductancia de dispersion del transformador.

Una vez simulado el circuito ideal se incluye en la simulación la inductancia de dispersión del transformador, para analizar su efecto en el comportamiento real del circuito. Este valor se extrae de la hojas de características del componente se ve en la figura 38, rodeada con un círculo rojo.

Flyback Transformer for ON Semiconductor NCP1027

- Developed for use with **ON Semiconductor NCP1027 Standby Power Supply**
- Specified in **Application Note AN8241/D**
- Designed for **universal input, 85 – 265 Vac**
- 2000 Vrms**, one minute primary to secondary **isolation**
- Operates in **continuous conduction mode** at **120 Vdc – 375 Vdc, 65 kHz**
- RoHS-compliant**. Matte tin over copper terminations.

[Photo](#) [Pricing](#) [Materials declaration](#) [PDF data sheet](#)

SPECIFICATIONS

[Dimensions](#) [Schematic](#) [3D model](#)

Part number Click for samples	Inductance at 0 A dc ¹ ±10% (µH)	DCR max (Ohms)			Leakage inductance ³ max (µH)	Turns ratio		Output
		pri	sec	aux		pri:sec	pri:aux	
DA2077-AL	3400	2.53	0.042	0.574	114	1:0.06	1:0.15	5 V, 2 A (sec) 12.5 V, 10 mA (aux)

Figura 38: Características del flyback.

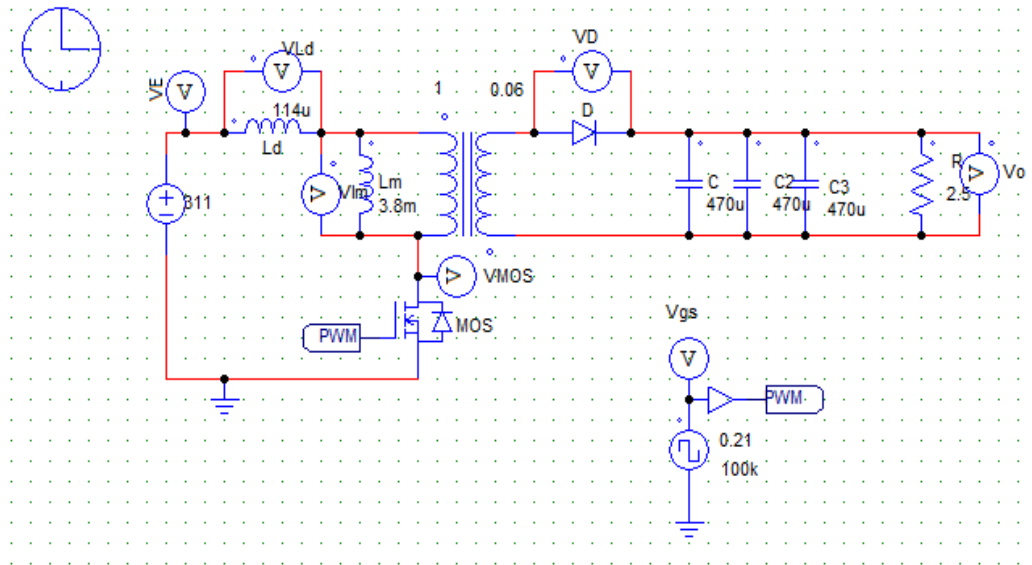


Figura 39: Circuito flyback con inductancia de dispersión.

Al colocar la inductancia de dispersión (L_d) al circuito, se puede observar en el MOSFET, cómo sufre un pico el cual puede llegar hasta los 1500V incluso superarlos esto hace que el dispositivo sufra estrés eléctrico y se le acorte la vida útil, se puede apreciar en la figura 40.

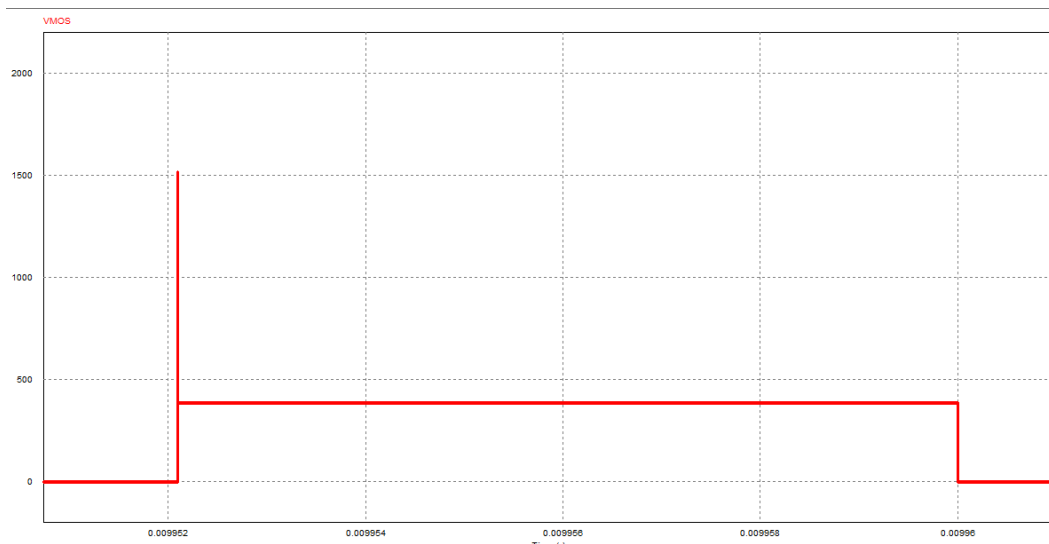


Figura 40: Pico de tensión que sufre el MOSFET

Para analizar aún con más realismo la conmutación del MOSFET, se incluye también en la simulación la resistencia parasita del devanado primario del transformador, cuyo valor se indica en la hoja de características de la figura 41.

Flyback Transformer for ON Semiconductor NCP1027



- Developed for use with **ON Semiconductor NCP1027 Standby Power Supply**
- Specified in **Application Note AN8241/D**
- Designed for for **universal input, 85 – 265 Vac**
- **2000 Vrms**, one minute primary to secondary **isolation**
- Operates in **continuous conduction mode** at **120 Vdc – 375 Vdc, 65 kHz**
- **RoHS-compliant**. Matte tin over copper terminations.

Photo Pricing Materials declaration PDF data sheet

SPECIFICATIONS

Dimensions Schematic 3D model

Part number Click for samples	Inductance at 0 Adc $\pm 10\%$ (μH)	DCR max (Ohms) ²			Leakage inductance ³ max (μH)	Turns ratio		Output
		pri	se	aux		pri:sec	pri:aux	
DA2077-AL	3400	2.53	0.042	0.574	114	1:0.06	1:0.15	5 V, 2 A (sec) 12.5 V, 10 mA (aux)

Figura 41: Características del flyback

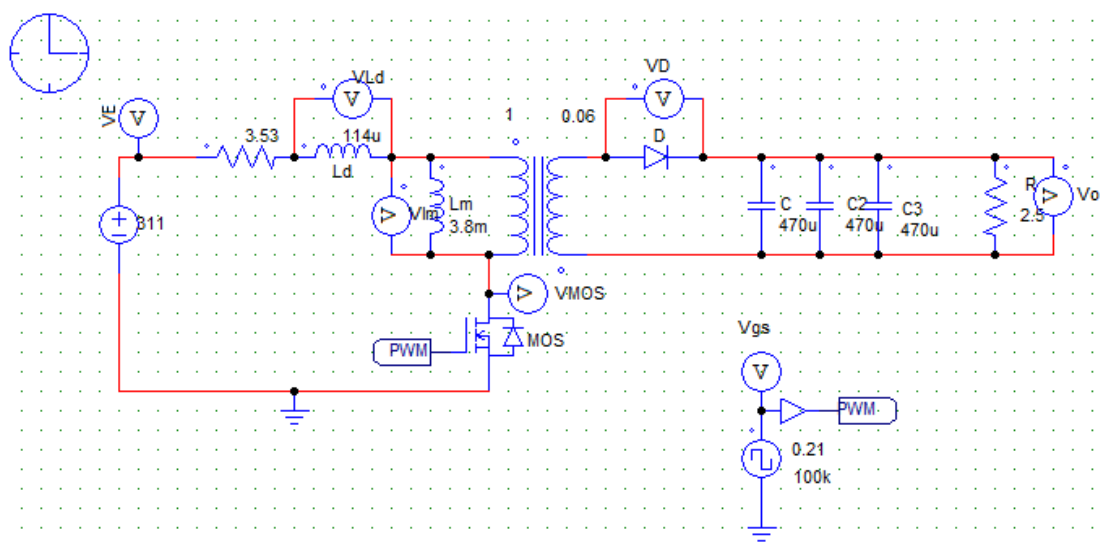


Figura 42: Circuito flyback con resistencia parasitaria del devanado del primario.

Si se coloca una resistencia (R_{ds}) en serie con la L_d lo que se consigue es que el pico se produzca en un periodo más largo de tiempo lo cual hace que el dispositivo sufra menos como se puede apreciar en la figura 43.

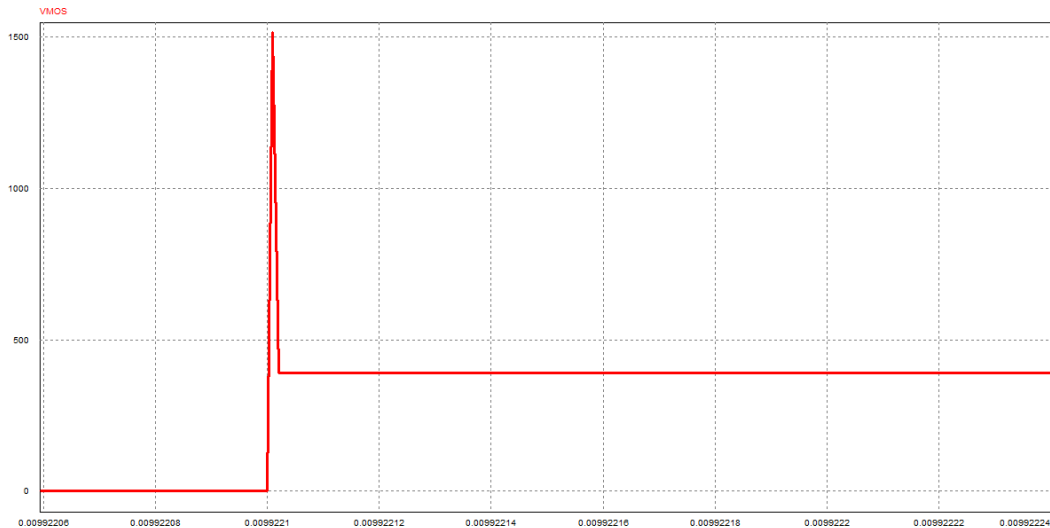


Figura 43: Simulación con la resistencia parasitaria.

Por lo que sería aconsejable la necesidad de snubber.

Los snubber o circuitos de ayuda a la conmutación son una parte básica en muchos de los circuitos electrónicos de potencia. Pueden ser considerados como un conjunto de componentes (el cual está formado por resistencias y condensadores) que se añaden al circuito de potencia para disminuir en el dispositivo semiconductor (MOSFET) el estrés eléctrico durante las conmutaciones y así asegurando un régimen de trabajo seguro.

Justificación.

Los dispositivos semiconductores, se caracterizan por disponer unos valores máximos de tensión, corriente y potencia soportada, los cuales si son superados podrían provocar la destrucción del dispositivo. Cuando se diseña un circuito se ha de poner especial cuidado en que sus componentes puedan resistir las condiciones de trabajo más desfavorables que tengan lugar, tanto durante su funcionamiento normal como ante determinadas acciones ajenas a la propia operación normal del circuito (sobretensiones, cortocircuitos externos, etc.).

Para el diseño de los circuitos de potencia los principales que se desean alcanzar por parte del diseñador son:

- *Minimizar el tamaño del equipo*
- *Mantener un alto rendimiento*
- *Ajustarse al coste que el mercado reclama*

Para intentar solventar los problemas que puedan aparecer en el dispositivo por el estrés eléctrico (sobretensión, elevadas pérdidas en conmutación, etc.) se utiliza un dispositivo semiconductor trabajando en conmutación y un dispositivo que soporte los valores máximos para el circuito. En cualquier caso, la decisión última dependerá del coste y la disponibilidad de semiconductores con los requerimientos eléctricos necesarios, comparados con el coste y la complejidad del snubber apropiado en cada aplicación.

La función principal de los circuitos de ayuda a la conmutación es **absorber la energía procedente de los elementos reactivos** del circuito durante el proceso de conmutación controlando parámetros tales como la evolución de la tensión o corriente en el interruptor, o bien limitando los valores máximos de tensión que ha de soportar.

Cuando se diseña una red de protección adecuadamente, el interruptor tendrá que disipar menores picos de potencia, tensión y corriente, todo ello a costa de **incrementar la circuitería y la complejidad del circuito**.

En la figura 44, se puede apreciar cómo evolucionan las tensiones y corrientes más significativas de un convertidor reductor considerando la presencia de capacidades parásitas en el MOSFET y diodo, así como inductancias parásitas. Encontrándose con la presencia de sobretensiones y oscilaciones de alta frecuencia que provocan una probable ruptura por sobretensión del interruptor.

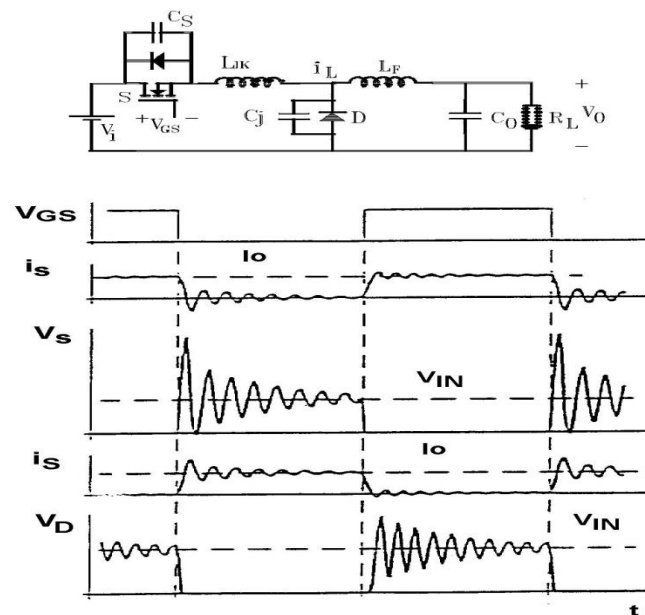


Figura 44: Oscilaciones presentes en un convertidor reductor ante la presencia de elementos parásitos.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Centrándose en los snubbers, éstos consiguen reducir el estrés eléctrico en los semiconductores durante el proceso de conmutación cuando trabajan en un convertidor electrónico, de varias formas:

1. **Limitando el pico máximo de tensión** aplicado al interruptor durante el transitorio que aparece en el proceso de apagado.
2. **Limitando el pico máximo de corriente** a través del interruptor durante proceso de encendido.
3. **Limitando la pendiente de la corriente (di/dt)** que circula por el interruptor en el proceso de encendido.
4. **Limitando la pendiente de la tensión (dv/dt)** en el interruptor durante el proceso de apagado.

4.6 Snubber con π

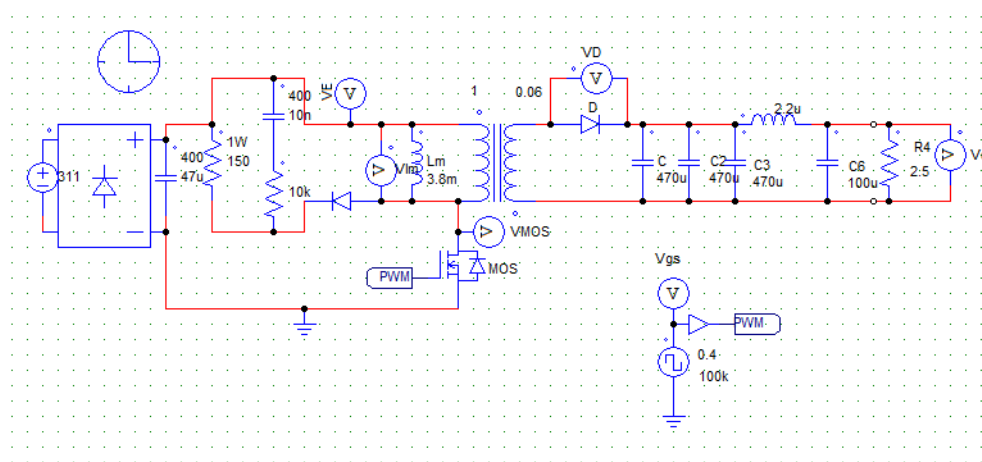


Figura 45: circuito con snubber y filtro Pi

Como se aprecia en la figura 46, la tensión del MOSFET se fija en 390V y así se baja el estrés eléctrico del dispositivo.

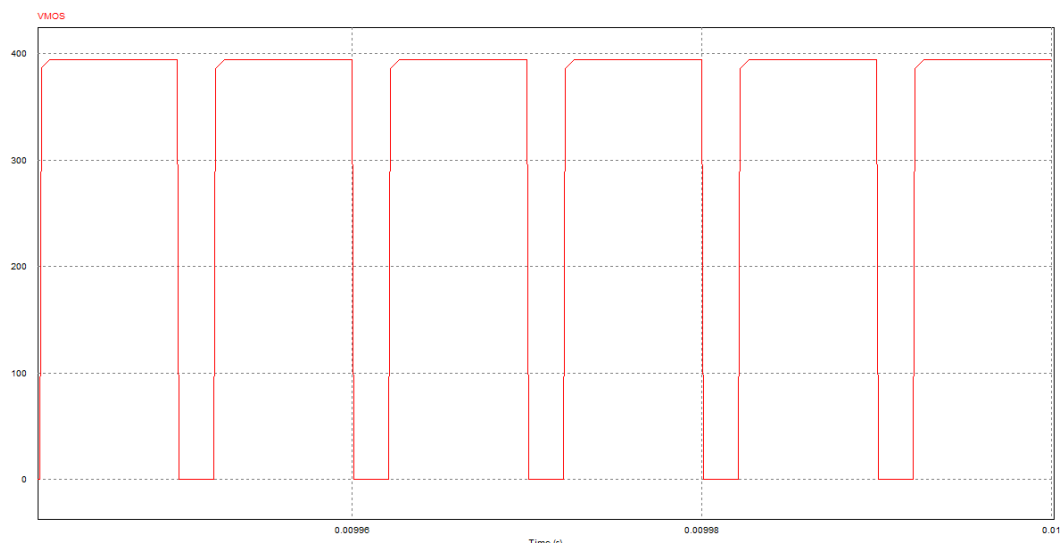


Figura 46: Formas de ondas del MOSFET con el snubber.

5. Diseño y construcción del prototipo. Resultados experimentales

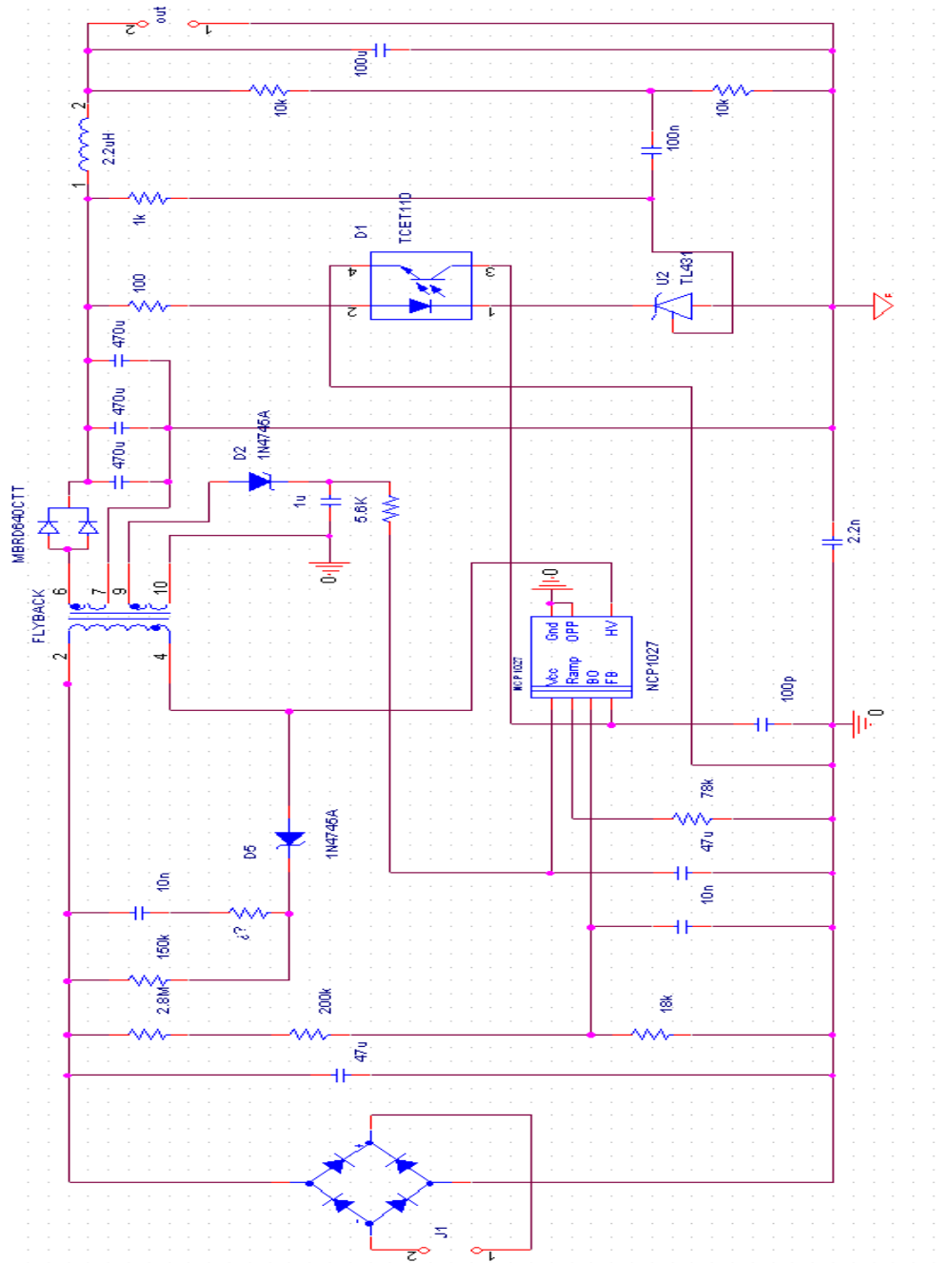


Figura 47: Circuito completo.

Antes de comenzar con el montaje, se prueban los componentes para que estén en buen estado, se comienza con un circuito simple de flyback como se observa ver en la figura 48.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

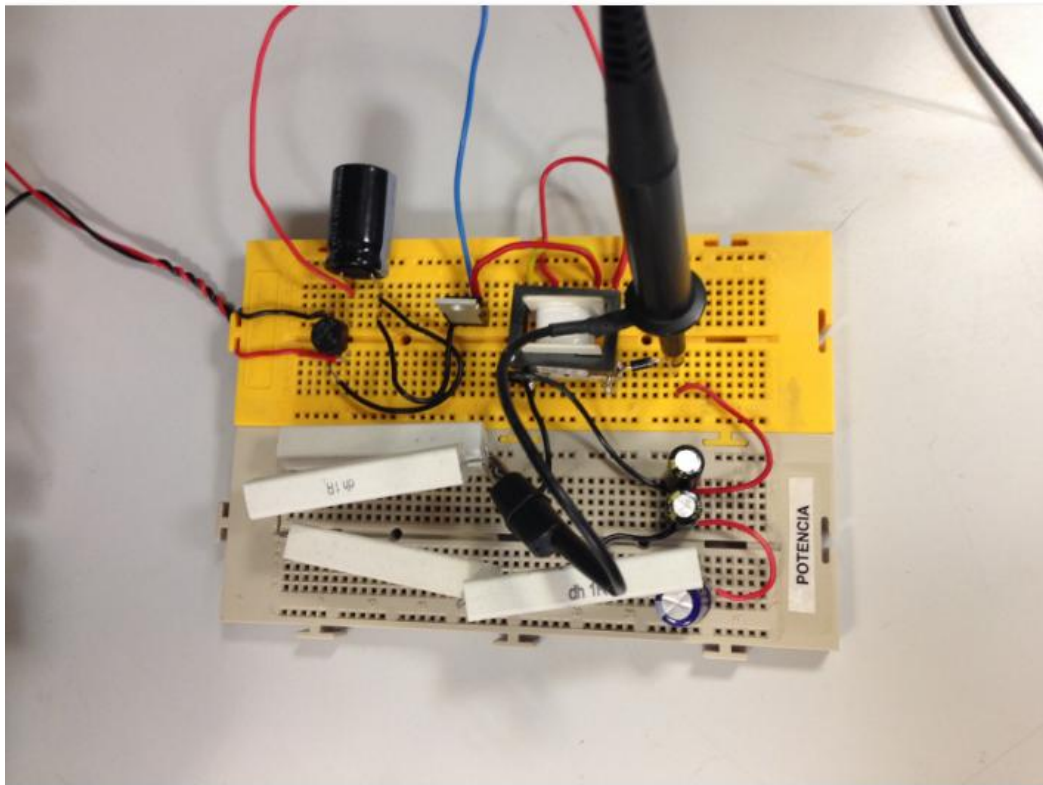


Figura 48: Circuito flyback en protoboard.

En la figura 49, se puede ver como la salida del circuito nos da efectivamente 5V a la salida.

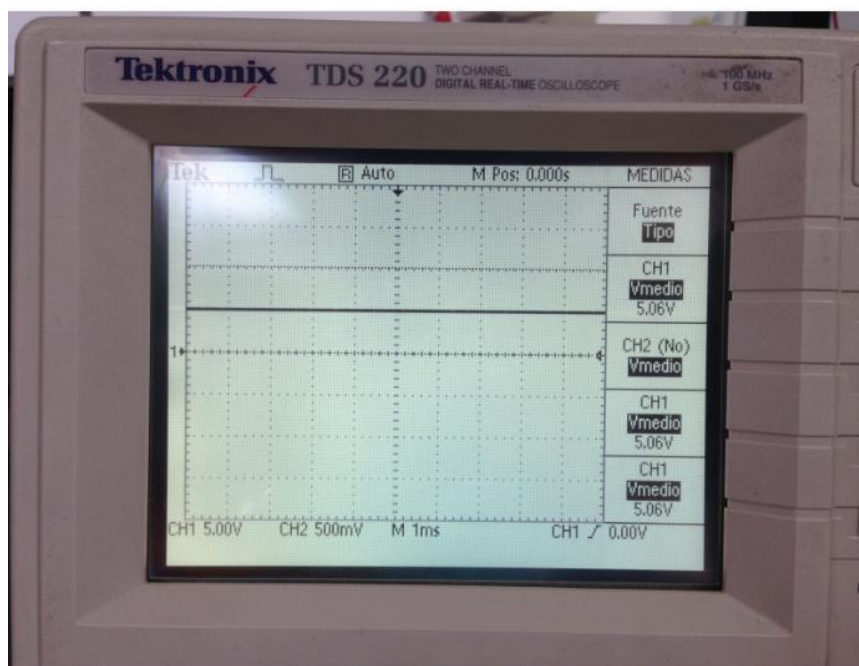


Figura 49: Simulación de la tensión de salida.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Ahora en la figura 50, se muestra el funcionamiento del MOSFET que se ha utilizado para disparar el flyback, aquí también se puede ver los picos de tensión los cuales se eliminaran por completo con el snubber cuando se realice el circuito por completo.

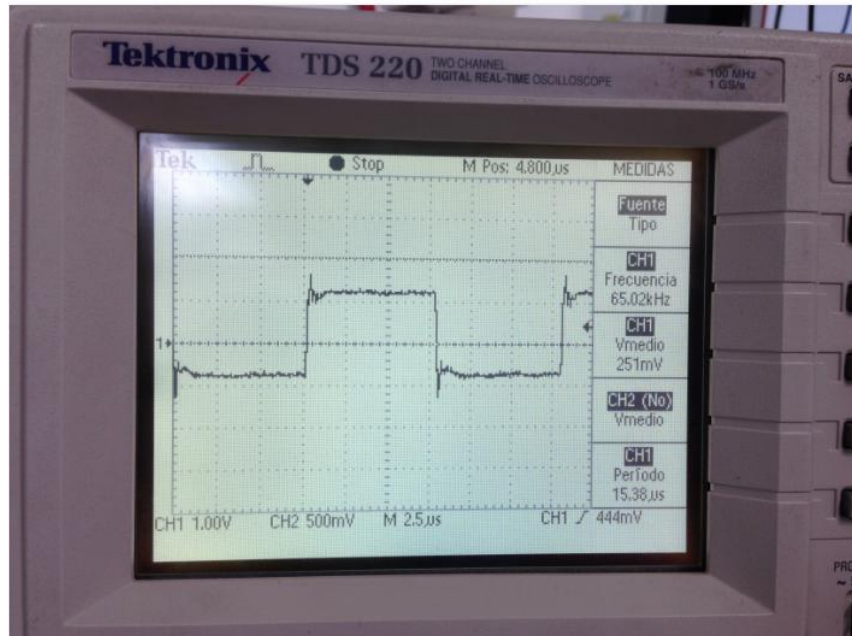


Figura 50: Simulación de la tensión de MOSFET.

5.1 Componentes principales del prototipo

El primer montaje que se realizó del prototipo, lo se efectuó en un corcho para ver la distribución de los componentes y luego poder fabricar la PCB, se muestra en la figura 51.



Figura 51: Circuito montado en un corcho.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

Posteriormente se hizo otra modificación para reducir el tamaño y dejarlo como prototipo final como se muestra en la figura 52.



Figura 52: Circuito completo en Pcb.

5.2 Diseño de la placa

CAPA BOTTOM

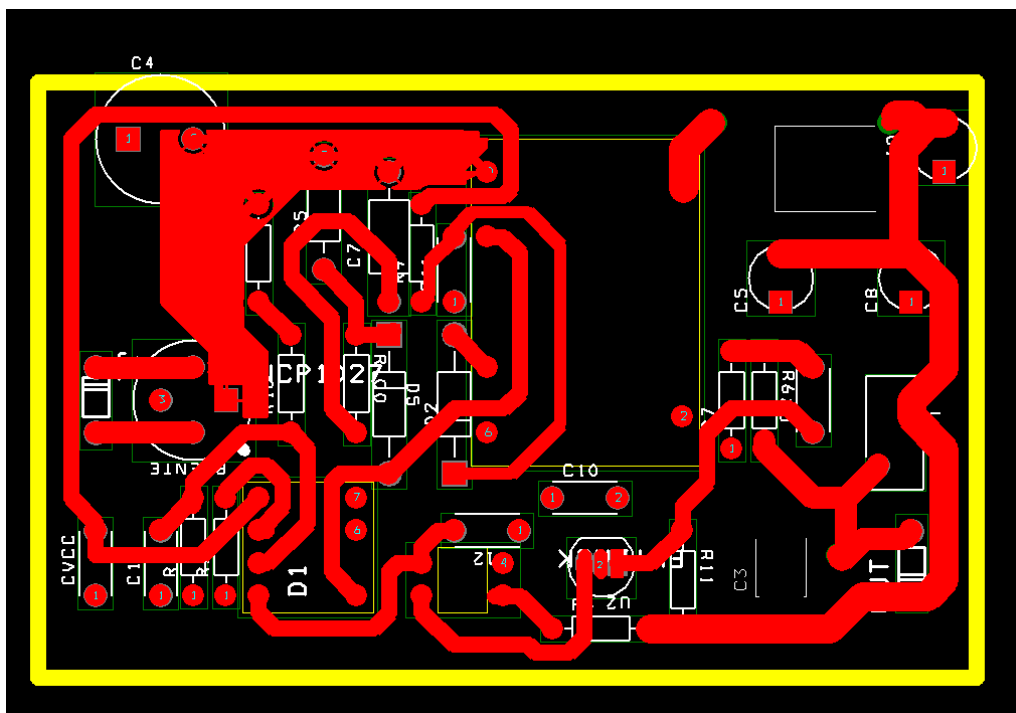


Figura 53: Plano de pistas.

CAPA TOP

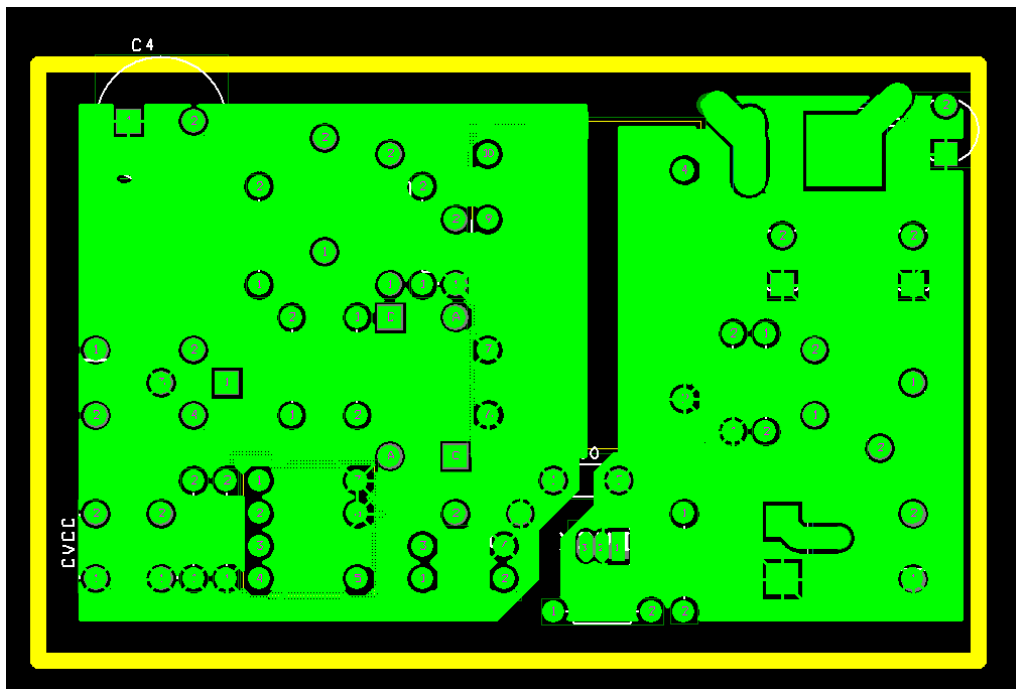


Figura 54: Plano de masas.

El montaje del circuito, ha resultado más difícil de lo esperado ya que ha tenido que diseñar y fabricar varias placas. Como se puede ver en la figura 55.

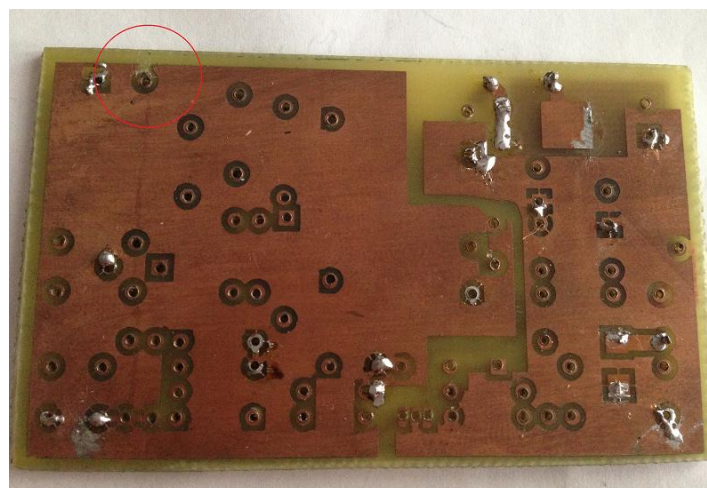


Figura 55: Placa Pcb con cortocircuito.

Este diseño, después de tener el montaje de la placa completo, se decidió probarlo y resulta tener un cortocircuito donde marcamos con el círculo rojo, por el cual los resultados no eran los esperados.

Se decidió entonces diseñar y fabricar otra placa aumentando los pads de las pistas como se aprecia en la imagen 56.

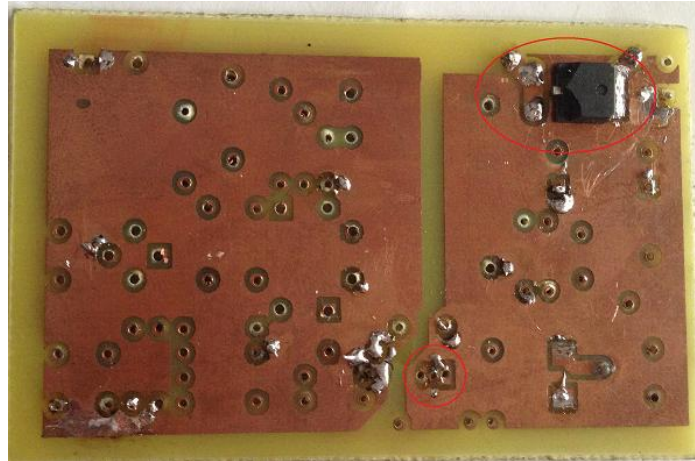


Figura 56: Placa Pcb con cortocircuito.

Pero aparecieron otros cortocircuitos inesperados y ya que al soltar los componentes las pistas se desprendían de la placa, como se puede ver en la imagen 56, por lo que por último se diseño otra placa y se mando fabricar como se puede ver en la figura 57.

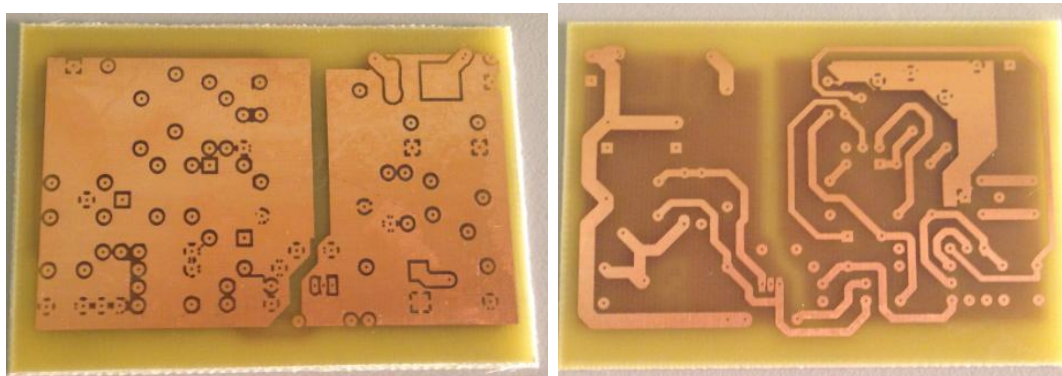


Figura 57: Pcb. Planos de masas y plano de pistas.

La primera foto corresponde al plano de masa y se diferencias dos partes, el más grande corresponde al primario y la otra es del secundario los cuales están separados como se puede ver.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

En la segunda foto se puede apreciar las pistas del circuito el cual se dividió en dos partes, las más anchas son las pistas de potencia y las otras más finitas son las de control.

A partir de aquí se comenzó a soldar los componentes y montar la placa.

5.3 Montaje de la placa

Después de taladrar la placa, se continuó soldando los componentes y montando el prototipo.

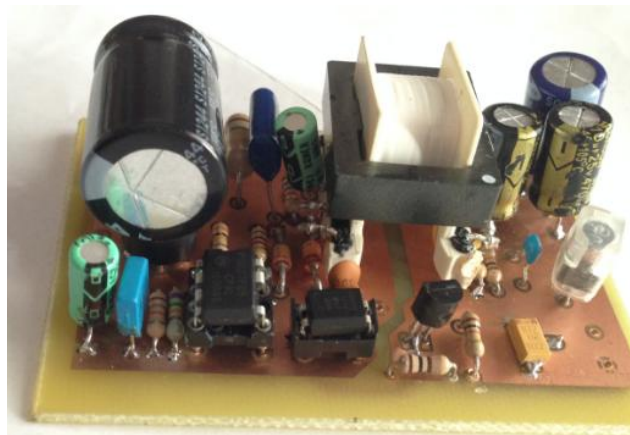


Figura 58: Prototipo final.

En la figura 59, se aprecia los componentes que forman el filtro Pi, que viendo el efecto que realiza sobre la salida y el espacio que ocupan es muy aconsejable de introducir en un circuito.

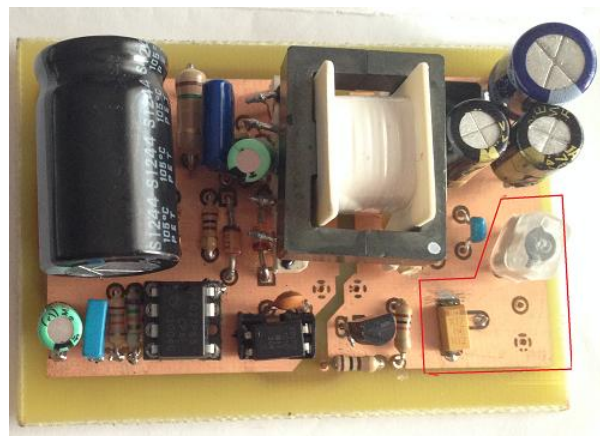


Figura 59: Prototipo final.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

En la figura 60, dentro del círculo rojo, se ven los componentes del snubber con el que se alarga la vida del circuito integrado, se observa que el espacio que ocupa es muy pequeño.

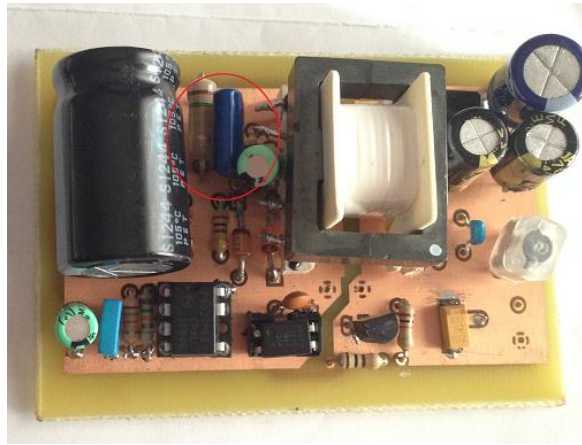


Figura 60: Prototipo final..

Los demás componentes forman parte de un circuito flyback. Como pueden ser los condensadores de salida, los diodos, el rectificador o el condensador de alta, etc...

6. Conclusiones

Tras los estudios y montaje del presente proyecto, se pueden extraer algunas conclusiones de interés, las cuales se enumeran a continuación:

- En el proyecto fin de carrera se ha desarrollado un prototipo de cargador utilizando un transformador CC-CC cumpliendo las especificaciones.
- Al utilizar un convertidor flyback con aislamiento galvánico se aumenta la seguridad del dispositivo al no haber conexión directa con la tensión red la red eléctrica.
- En el cargador se han intentado reducir el tamaño lo máximo, dentro de nuestras posibilidades de diseño y presupuesto adecuándolo lo más posible a las necesidades del usuario.
- La utilización en el circuito el snubber nos asegura la más durabilidad de los dispositivos utilizados, ya que reduce considerablemente el estrés eléctrico.
- Por otro lado, la utilización del filtro Pi nos asegura que se elimina casi por completo el rizado de salida, lo cual hace que el dispositivo tenga una carga constante.
- La metodología utilizada ha resultado fructífera ya que hemos alcanzado el objetivo final de nuestro proyecto.
- La posibilidad de diseñar el prototipo nos permite sacar resultados y compararlos con los experimentales y ver si son correctos.
- El software de simulación de circuitos eléctricos y electrónicos PSIM ha resultado una herramienta muy útil a la hora del desarrollo del circuito ya que proporciona uno resultados muy fiables.
- La herramienta utilizada para el diseño de PCB (Orcad) también ha sido muy útil para la fabricación de la placa, por un lado *Capture* para el diseño del circuito y el *Layout* para la fabricación de las pistas en la PCB.

7. Presupuesto

7.1 Planificación temporal.

En este apartado se nombran las diferentes tareas que han sido necesarias para el diseño, modelado y construcción del cargador, detallando la duración de cada proceso. Por último se representará gráficamente estas relaciones con la ayuda de un diagrama de Gantt en la figura 61.

Las tareas que se han llevado a cabo para la realización de este proyecto han sido las siguientes:

- Documentación y estudio: Análisis de la problemática existente y estudio de las posibles alternativas para una solución. Se compone a su vez de las siguientes subtareas:
 - Análisis y estudio de los diferentes tipos de convertidores CC-CC: búsqueda, recopilación y estudio de información sobre los avances existentes en el campo de estudio.
 - Análisis de resultados y fijación de objetivos: A la vista de la información obtenida en la tarea precedente, concreción de los objetivos del proyecto y fijación de los requisitos de la aplicación a desarrollar.
- Diseño de la aplicación: Descripción y formalización de la estructura del sistema con el suficiente detalle como para permitir su realización física.
- Modelado: Realización física de la aplicación. Se compone a su vez de las siguientes subtareas:
 - Montaje: Desarrollo del prototipo del cargador.
 - Pruebas de la aplicación: Realización de los ensayos pertinentes que permitan comprobar si la aplicación se ajusta a los requisitos y el diseño deseados.
 - Corrección y refinamiento de la aplicación: Corrección de errores e inclusión de mejoras a partir de los resultados obtenidos en la fase anterior.
- Pruebas del sistema completo: Realización de los ensayos pertinentes que permitan comprobar que el sistema cumple con los requisitos prefijados.
- Elaboración de la memoria: Elaboración de la documentación relativa al proyecto.
 - Análisis de resultados y obtención de conclusiones: A la luz de los resultados obtenidos a lo largo de las diversas fases del proyecto, extrapolación de las conclusiones del mismo.

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

- Redacción de la memoria: Redacción de la documentación relativa al proyecto.

A continuación, se mostrará una tabla con la información detallada del tiempo en días de tareas mencionada antes.

Trabajos	Duración (días)
Documentación y estudio	35
Diseño del prototipo	30
Modelado	5
Pruebas del sistema completo	7
Elaboración de la memoria	20

Tabla 5: Duración de las tareas del proyecto.

7.2 Recursos empleados.

A continuación se enumeran los recursos empleados para el desarrollo del presente proyecto, diferenciando entre recursos humanos y materiales.

7.2.1 Recursos humanos

Los diferentes tipos de profesionales que han intervenido en la ejecución del proyecto son:

- Ingeniero Técnico Industrial en Electrónica Industrial: Encargado de la dirección, planificación y ejecución del proyecto.

7.2.2 Recursos materiales.

Los recursos materiales empleados para el desarrollo del presente proyecto han sido:

- Ordenador personal
- Impresora laser.
- Utilidades Software.
- Material fungible: Incluye desde tóner, papel y demás material de oficina hasta luz, uso de instalaciones, conexión a Internet,...

7.3 Coste asociado al proyecto.

El uso de los recursos detallados en el apartado anterior conlleva un coste, mediante el cual se calculará el presupuesto necesario para la ejecución de este proyecto.

7.3.1 Costes de recursos humanos

A partir de la asignación de los recursos humanos a las diversas tareas del proyecto y de los honorarios del profesional, se esta en disposición de calcular el coste total asociado a recursos humanos.

En la siguiente tabla detallamos, el tiempo que el profesional interviene en la ejecución del proyecto, su asignación a las distintas tareas del mismo y las horas dedicadas a cada una de ellas.

Nombre del recurso	Duración (horas)
Ing. Técnico Ind.: Electrónica Ind.	776
Documentación y estudio	280
Diseño del prototipo	240
Modelado	40
Pruebas del sistema completo	56
Elaboración de la memoria	160

Tabla 6: Estimación de horas del proyecto.

A partir de los datos de la tabla anterior, se puede calcular el coste total en recursos humanos del proyecto:

Profesional	Coste/hora	Horas	Total recurso
Ing. Técnico Ind.: Electrónica Ind.	50 €	776	38.800 €
Total			38.800 €

Tabla 7: Costes del los R.R.H.H del proyecto.

7.3.2 Coste en recursos de materiales.

En primer lugar se tiene que calcular el coste de amortización de todos aquellos recursos que sean amortizables. Dicho calculo queda reflejado en la siguiente tabla:

Equipo	PVP	Tpo. Vida	Amortización anual	Tpo. Uso	Coste
PC	800 €	5 años	20%	8 meses	106.67
Impresora	100 €	5 años	20%	8 meses	13.33
Software	200 €	5 años	20%	8 meses	26.67

Tabla 8: Amortización de los recursos materiales

A continuación se calculará el coste total en recursos materiales del proyecto partir del número de unidades de cada uno de ellos.

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
PC	1	106,67	106,67
Impresora	1	13,33	13,33
Software	1	26,67	26,67
NCP 1027	1	1,26	1,26
TL431	1	0,189	0,189
OPTOACOPLADOR	1	0,91	0,91
PUENTE RECTIFICADOR	1	0,5	0,5
DIODO MBRD640CTT4	1	0,9	0,9
CONDENSADOR (400V 47uF)	1	2,25	2,25
CONDENSADOR (400V 10nF)	1	1,24	1,24
CONDENSADOR SALIDA(100uF)	1	0,87	0,87
RESISTENCIA (150 K 1W)	1	0,096	0,096
CONDENSADOR (470 microF)	3	0,76	2,28
CONDENSADOR (47 microF)	1	0,35	0,35
BOBINA (2,2 mH)	1	2,12	2,12
TRANSFORMADOR FLAYBACK	1	7	7
RESISTENCIAS	9	0,12	1,08
DIODO ZENER (16V 1W)	2	0,78	1,56
CONSTRUCCION PLACA	1	30	30
Total			199,275

Tabla 9: Costes materiales.

7.3.3 Coste total del proyecto.

A partir de los costes parciales calculados en los apartados anteriores, ya se esta en disposición de obtener el coste total del proyecto, que queda detallado en la siguiente tabla:

Coste en RR.HH	38.800
Coste en recursos materiales	199
Subtotal	38.999
I.V.A (21%)	8.190
Coste total	47.189

Tabla 10: Coste total del proyecto.

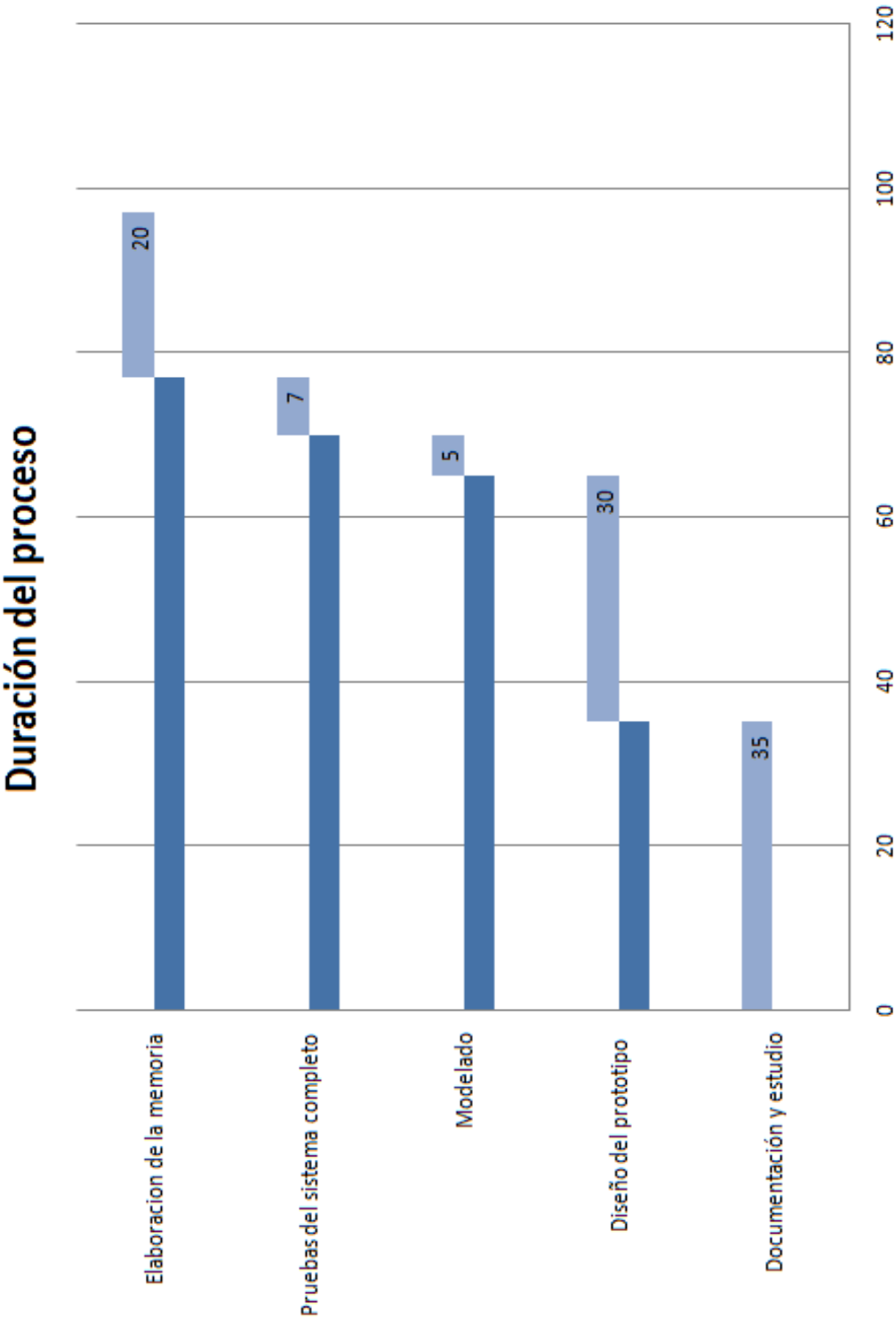


Figura 61: Diagrama de Gantt.

8. Referencias

- [1] Software para el cálculo, diseño y simulación de fuentes de alimentación conmutadas, circuitos y transformadores <http://www.powersim.com/>. Accedido en septiembre de 2014.
- [2] PSIM. Software de simulación de circuitos electrónicos <http://www.powersimtech.com/>. Accedido en septiembre de 2014.
- [3] Software de diseño de PCBs <http://www.orcad.com/products/orcad-capture>. Accedido en septiembre de 2014.
- [4]. A. Barrado, A. Lázaro, “Problemas de Electrónica de Potencia”, Pearson Education, Prentice Hall, 2007.
- [5] F. Peña, “Convertidor CC/CC flyback con enclavamiento activo”, Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid.
- [6] Ferroxcube, “Soft ferrites and accessories”, 2008. Accesible mediante <http://www.ferroxcube.com/appl/info/HB2009.pdf>. Accedido en septiembre de 2014.
- [7] Efecto pelicular http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_pelicular. Accedido en septiembre de 2014.
- [8] American Wire Gauge (AWG) <http://es.wikipedia.org/wiki/Awg>. Accedido en septiembre de 2014.
- [9] Optoacoplador <http://es.wikipedia.org/wiki/Optoacoplador>. Accedido en septiembre de 2014.
- [10] Convertidor flyback http://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Flyback. Accedido en septiembre de 2014.
- [11] Robert W. Erickson and Dragan Maksimovic, “Fundamentals of Power Electronics”, Ed. Kluwer Academic Publications.
- [12] J. López, “Herramienta para el diseño de convertidores CC-CC Forward y Flyback”, Proyecto fin de carrera, 2012, Universidad Carlos III Madrid.
- [13] J. Rincón, “Análisis del mapa de soluciones de Smartctrl aplicado a un convertidor Flyback”, proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III Madrid.
- [13] Manuales de PSIM <http://www.powersimtech.com/index.php?name=manuals>.
- [14] A. Martín, “Redes de ayuda a la conmutación disipativas y no disipativas”, Proyecto fin de carrera, 1999, Universidad de Oviedo.
- [15] Fabricantes de componentes utilizados:
-Flyback:
– <http://www.coilcraft.com/da2077.cfm>

- Bobinas:

– <http://www.coilcraft.com/>

– <http://www.rs.com/>

– <http://www.vishay.com/>

– <http://www.bourns.com/>

- Condensadores:

– <http://us.sanyo.com/Electronic-Devices-Components>

– <http://www.rs.com/>

– <http://www.panasonic.com/industrial/electronic-components/>

– <http://www.epcos.com>

– <http://www.vishay.com>

- Diodos:

– <http://www.diodes.com/>

– <http://www.rs.com/>

– <http://www.nteinc.com/>

– <http://www.st.com/>

– <http://www.vishay.com/>

– <http://www.ixysrf.com/>

– <http://www.onsemi.com/>

Diseño, modelado y construcción de un cargador USB para tensión de entrada universal.

<http://www.semiconductors.philips.com/>

– <http://www.farnell.com/>

Ncp 1027:

<http://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=NCP1027>

Optoacoplador:

<http://es.rs-online.com/web/p/optoacopladores/3956344/>